

Teknillinen korkeakoulu  
Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta  
Teollisuustalous  
Diplomityö: ”Kokoonpanotuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen”

# Kokoonpanotuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen

---

*Tilauskohtaisen venttiiliyhdistelmätuotannon muutokset  
toimintaympäristön muutoksessa*

Helsinki 25.6.2009

Tekijä: Lasse Mod, 60266V, lasse.mod@tkk.fi

Valvoja: Prof. Eero Eloranta  
Ohjaaja: Di. Tapani Suominen

Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Tekijä: Lasse Mod

Työn nimi: Kokoonpanotuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen

Sivumäärä: 78

Päiväys: 25.6.2009

Työn sijainti: TU

Professuuri: Teollisuustalous

Koodi: TU-22

Työn valvoja: Prof. Eero Eloranta

Työn ohjaaja: Di. Tapani Suominen

**TYÖN TARKOITUS:** Työn tarkoitus on osoittaa Metso Automation Oyj:n Flow Control -liiketoimintalinjan Helsingin toimituskeskukselle yhdistelmätuotannon kehityskohteita muuttuvassa toimitusympäristössään. Lisääntyvien asiakasvaatimusten seurauksena ratkaisua lähdetään etsimään tuoteräätälöinnin ja asiakaslähtöisen tuotannon saralta. Työssä nostetaan esiin tärkeimmät kehityskohteet, joihin kokoonpanotuotannolla on suoraan mahdollisuus vaikuttaa.

**MENETELMÄT:** Kirjallisuus- ja benchmark-tutkimuksen perusteella määritetään asiakaslähtöisen tuotannon ominaispiirteet ja vaatimukset kokoonpanotuotannon näkökulmasta. Kirjallisuuden pohjalta muodostetaan asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen malli. Flow Control -tuotelinjan nykyhetkeä sekä alustavia ongelmia arvioidaan kehittämismallin avulla. Mallin perusteella määritetään tuotannon tärkeimmät kehityskohteet, joista edelleen esitetään konkreettisia ehdotuksia Metson Automationin tuotannon kehittämiseksi.

**TULOKSET:** Kirjallisuuden perusteella oli mahdollista luoda asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen malli, jota verrattiin tuotannon nykytilaan. Tuotannon alustavat ongelmat heijastivat kirjallisuuden mainitsemia kehityskohteita. Tärkeimpinä kehityskohteina kokoonpanotuotannossa nähtiin jatkuva kehittäminen, työntekijöiden osaamisen ja motivaation kehittäminen, informaatiovirtojen selkeyttäminen, tuotannon ohjauksen yksinkertaistaminen sekä työn ohjaamisen kehittäminen. Lisäksi asiakaslähtöisen tuotannon tärkeiksi ominaisuuksiksi nähtiin tuotannon joustavuus ja läpimenoaikojen lyhentäminen. Metso Automationin tuotannon kehittämiseksi esiteltiin useampia konkreettisia kehotusehdotuksia, joista viisi tärkeintä valittiin kehittämisen lähtökohdaksi.

**PÄÄTELMÄT:** Asiakaslähtöisen tuotannon toimivuus ja tehokkuus ovat kiinni useasta tekijästä, joita kaikkia ei aiheen laajuuden takia voitu käsitellä. Työn ulkopuolelle jäi vielä tärkeitä kehityskohteita, kuten esimerkiksi tuotesuunnittelun kehittäminen sekä tiiviin yhteistyön lisääminen niin komponenttivalmistajien kuin myynnin ja markkinoinninkin kanssa. Työssä esitetyt tuotannon parannusehdotukset tukevat Metson Helsingin toimituskeskuksen mukautumista korostuviin tuotteiden räätälöintivaatimuksiin ja ovat olennaisia onnistuvien toimitusten aikaansaamiseksi.

Asiasanat: asiakaslähtöinen tuotanto, tuotteen räätälöinti

Julkaisukieli: suomi

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ABSTRACT OF THE MASTER'S  
THESIS

Faculty of Information and Natural Sciences  
Industrial Engineering and Management

Author: Lasse Mod		
Subject of the thesis: The development of the customer driven assembly production		
Number of pages: 78	Date: 25.06.2009	Library location: TU
Professorship: Industrial Economics		Code of professorship: TU-22
Supervisor: Prof. Eero Eloranta		
Instructors: M.Sc. Tapani Suominen		
<p><b>PURPOSE:</b> The purpose of this work is to explore the possible production-related problems of Metso Automation Ltd Helsinki supply centre. Increased customer requirements as well as increased product customization suggest some improvements to the current system can be made. This work will explore the most plausible ones that can be affected by assembly production itself.</p> <p><b>MATERIALS AND METHODS:</b> Literature review and benchmark investigation are used to identify and to introduce the requirements of customer-driven production from the standpoint of assembly production. According to the literature review development model for customer driven production is constructed. Present production circumstances and black spots are evaluated on the basis of the created development model. The most important development targets are appointed, and concrete proposals for Metso Automation are introduced.</p> <p><b>RESULTS:</b> It was possible to create a development model for customer driven production based on the literature review. The model was compared to present state of production. Preliminary black spots in productions reflected the same targets of development that were referred in the literature. As a result, the most important targets of development were considered to be continual development, workforce competence and motivation, improvement of information flow, simplification of the shop floor control and the development of production control. Additionally important factors were production flexibility and cutting lead-times. Several concrete proposals for Metso Automation were introduced, and five of them were chosen as a starting point of further development.</p> <p><b>CONCLUSIONS:</b> There are a number of factors affecting customer-driven production, which are not covered in the scope of this thesis, such as development of product design and tense co-operation with component factories and sales and marketing. This work lists some changes to be made in the assembly production in Helsinki supply centre, in order to improve production of highly customized products. Improvements are needed to ensure successful deliveries in the future.</p>		
Keywords: customer driven production, product customization		Publishing language: Finnish

## Esipuhe

Haluaisin kiittää Metso Automationia ja erityisesti Riku Niemeä ja Tapani Suomista mahdollisuudesta tehdä diplomityöni näin mielenkiintoisesta aiheesta. Samat henkilöt ansaitsevat kiitoksen lisäksi innostuneisuudestaan ja kiinnostuksesta työtä kohtaan sen etenemisen aikana. Työni ohjaajana Tapani Suominen seurasi työn tavoitteiden täyttymistä sekä tarjosi tukea ja ohjausta tarvittaessa.

Työni valvojaa professori Eero Elorantaa haluan kiittää neuvoista ja ohjeistuksesta työn alkutaipaleella sekä työlle uhratusta ajasta työn loppumetreillä. Palaute työn viimeistelemiseksi oli rakentavaa ja ohjaavaa.

Ilman haastatteluita toimituskeskuksen muutosajureiden ja nykytilan selvittäminen olisi ollut mahdotonta, joten haluan kiittää lämpimästi kaikkia haastatteluihin osallistuneita henkilöitä. Työn kannalta erityisen tärkeitä haastattelut sain Timi Niemiseltä ja Nina Hyvöseltä. Lisäksi erityisesti kiitoksen ansaitsevat tuotannon kehitystiimin työtoverini Jarno Laisalmi, Juha Jussila ja Jyrki Heikkinen, jotka jakoivat minulle hyvin tärkeää tuotannon tehtaan lattiatason näkemystä tutkimuksessa.

Benchmark-vierailun mahdollisuudesta ja opastuksesta haluan suuresti kiittää Rocla Oyj:n tuotannon kehittäjiä Anssi Haatajaa ja Petri Lehtosta. Kiitoksen ansaitsee myös Roclan yhteyshenkilönä toiminut koulukaverini Harri Bruman.

Lopuksi haluan vielä kiittää tyttöystävääni, Saria, ymmärryksestä työn tekemisen aikana ja avusta työn viimeistelemisessä sekä ystävää Laura Sorvaa avusta työn oikeinkirjoituksen tarkistamiseksi.

Helsinki, 25.6.2009

---

Lasse Mod

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>1</b>
1.1	Tutkimusongelma .....	1
1.2	Tavoite ja rajaukset .....	1
1.3	Käytettävät tutkimus- ja suunnittelumenetelmät .....	2
1.4	Työn rakenne .....	2
<b>2</b>	<b>Asiakaslähtöinen tuotanto.....</b>	<b>3</b>
2.1	Asiakaslähtöistä tuotantoa tukevat tuotantoaatteet.....	3
2.2	JIT-tuotanto .....	5
2.3	Time based -tuotanto .....	6
2.4	Lean-tuotanto.....	6
2.4.1	Lean-tuotannon rakenne .....	7
2.4.2	Lean-tuotannon mittaaminen .....	9
2.4.3	Vaikeudet lean-tuotannon soveltamisessa .....	9
2.5	Agile-tuotanto.....	10
2.5.1	Agile-tuotanto verrattuna muihin .....	11
2.6	Tuotantofilosofioista mallia asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiseen .....	12
<b>3</b>	<b>Laatufilosofiat tukemassa asiakaslähtöisen tuotannon kehittämistä.....</b>	<b>14</b>
3.1	TQM, laaja-alainen laatuajattelu .....	14
3.1.1	Jatkuvan parantamisen filosofia, kaizen .....	15
3.2	Six Sigma -laatuajattelu.....	16
3.3	Laatuaatteiden vaikutukset tuotannon kehittämiseen .....	17
<b>4</b>	<b>Tuoteräätälöinti.....</b>	<b>18</b>
4.1	Tuoteräätälöinnin haasteet.....	18
4.2	Asiakaslähtöinen tuotantostrategia.....	18
4.2.1	Asiakaslähtöisen tuotantostrategian vaatimukset .....	19
4.3	Räätälöintitasot tuotannossa .....	20
4.4	Massaräätälöinti.....	21
4.4.1	Kompleksisuuden vähentäminen massaräätälöintiympäristössä .....	22
4.4.2	Asiakaslähtöisen tuotannon kehittäminen massaräätälöinnin mukaan .....	24
4.5	Projektihallinnollinen tuoteräätälöinti .....	24
4.5.1	Projekti ohjautuvan tuoteräätälöinnin haasteet .....	25
4.5.2	Projekti ohjautuvan tuotannon suunnittelu .....	25
4.5.3	Tuotannon kehittäminen ETO-mallin mukaan .....	27
<b>5</b>	<b>Kokoonpanotuotannon organisointi.....</b>	<b>29</b>
5.1	Kokoonpanoryhmien muodostaminen loppukokoonpanossa.....	30

5.2	Optimoitu moderni kokoonpanotuotanto .....	31
5.3	Kokoonpanotuotannon kehittäminen nykypäivänä .....	32
<b>6</b>	<b>Asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen malli.....</b>	<b>33</b>
6.1	Asiakaslähtöisen tuotannon tavoitteena joustavuus .....	33
6.2	Asiakaslähtöisen tuotannon hyvät toimintatavat .....	34
6.3	Menetelmät asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiseksi .....	35
6.3.1	Jatkuva kehittäminen .....	35
6.3.2	Työvoiman arvostaminen: motivaation ja osaamisen tärkeys .....	38
6.3.3	Tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen: visuaalisuuden parantaminen.....	40
6.3.4	Informaatiovirtojen parantaminen .....	41
6.3.5	Läpimenoaikojen leikkaaminen, aikatauluttaminen ja työkuorman ohjaaminen.....	42
6.3.6	Laitteistojen kehittäminen ja hankkiminen: yksinkertaiset, joustavat, liikuteltavat ja matalakustanteiset laitteistot .....	45
6.3.7	Aloitus- ja asetusaikojen leikkaaminen sekä huoltotoimien ennakoiminen .....	45
<b>7</b>	<b>Tuotannon muutostarpeet Flow Control -tuotelinjalle .....</b>	<b>46</b>
7.1	Flow Control -tuotelinjan tuotteet .....	46
7.2	IQI-tuotantoprosessi ja -tuotteet .....	49
7.2.1	IQI-tilausprosessi .....	49
7.2.2	IQI-tuotteet .....	51
7.3	Tuotantostrategian (Global Footprint) muotoutuminen .....	51
7.3.1	Metson liiketoimintastrategia .....	52
7.3.2	Tuotantostrategian muutoksenajajat .....	52
7.3.3	Tuotantostrategian ohjaavat kulmakivet.....	53
7.4	Muutoksen vaatimukset Helsingin toimituskeskukselle .....	54
7.5	Ilmeneviä ongelmia Helsingin tehtaalla .....	55
<b>8</b>	<b>Benchmark-vierailu Rocla Oyj:llä .....</b>	<b>57</b>
8.1	Tuotteet ja tuotantoprosessi.....	57
8.2	Roclan tuotannon hyviä ominaisuuksia ja haasteita.....	58
8.3	Metsolle oppia Roclalta.....	58
<b>9</b>	<b>Metson Flow Control -tuotelinjan tuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen .....</b>	<b>60</b>
9.1	Flow Control -tuotelinjan kehittäminen asiakaslähtöisen mallin mukaan .....	60
9.1.1	FC-tuotelinjan prosessien jatkuva kehittäminen.....	60
9.1.2	FC-tuotelinjan työntekijöiden osaamisen ja motivaation kehittäminen .....	61
9.1.3	FC-tuotelinjan tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen.....	63

9.1.4	FC-tuotelinjan informaatiovirtojen kehittäminen .....	67
9.1.5	FC-tuotelinjan työkuorman ohjaus, aikataulutus ja läpimenoaikojen leikkaaminen.....	68
9.1.6	FC-tuotelinjan aloitus- ja asetusajkojen leikkaaminen .....	70
9.1.7	FC-tuotelinjan laitteistojen kehittäminen .....	71
9.2	Flow Control -tuotelinjan merkittävimmät parannusehdotukset.....	72
<b>10</b>	<b>Kehitysprojektien toimeenpano.....</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>77</b>
<b>12</b>	<b>Lähteet.....</b>	<b>78</b>

## Lyhenteet

ATO	Assembly to Order
CTQ	Critical to Quality
DFA	Design for Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve & Control
DPMO	Defects Per Million Opportunities
EHC	Energy & Hydrocarbon
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer to Order
FC	Flow Control
HSC	Helsinki Supply Center
IPO	Internal Purchase Order
IQI	Internal Quotation Inquiry
JIT	Just In Time
JOT	Juuri Oikeaan Aikaan
MTO	Make to Order
MTS	Make to Stock
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PDSA	Plan, Do, Study, Act
QSFV	Quality, Speed, Flexibility, Value
SCM	Supply Chain Management
TQM	Total Quality Management
WBS	Work Breakdown Structure
WCM	World Class Manufacturing
WIP	Work in Process
WLC	Workload Control
WP	Work Package



# 1 Johdanto

Metso Automation on Metso-konsernin energia ja ympäristö -liiketoimintalinjan automaatio- ja säätöratkaisuihin keskittyvä liiketoimintayksikkö. Metso Automationin Flow Control (FC) -tuotelinjan toistaiseksi suurin toimituskeskus sijaitsee Helsingissä, yrityksen alkulähteillä. Kolme muuta toimituskeskusta sijaitsevat Kiinan Shanghaissa, Ranskan Whittenheimissa ja Brasilian Aracruzissa.

## 1.1 Tutkimusongelma

Tuotteiden kysynnän painopisteen muutos globaalissa markkinatilanteessa ohjaa FC-tuotelinjan tuotantostrategian uudistamiseen. Globaalin muutosprosessin seurauksena Metso Automationin FC-liiketoimintalinjan tuotantostrategiaksi muodostuu Global Footprint, joka jakaa toimituskeskuksien roolit. Uuden Global Footprint -tuotantostrategian ohjaamana päivittäis- ja varastotuotteiden tuotanto tulee ohjautumaan lähemmäksi kasvavia markkinoita Aasiaan, Shanghain. Hankalat erikoissuunnittelua vaativat tuotteet tullaan tuottamaan keskitetysti Helsingin tehtaalla.

Metson Helsingin toimituskeskuksen toimitukset tulevat keskittymään tilauskohtaisiin yhdistelmiin, jotka yrityksen sisällä kulkevat nimikkeellä IQI-tilaukset (Internal Quotation Inquiry). Tuotteet vaativat usein tilauskohtaista suunnittelua ja tuloksena syntyy ainutlaatuisia yksilöitä. Markkinoiden FC-liiketoimintalinjan kasvupotentiaalia on ennustettu energia- ja hiilivetyteollisuuden saralla, mikä näkyy tuotannossa aiempaa monimutkaisempina ja vaativampina yhdistelminä. Lisäksi asiakkaiden säätösovelluksilta vaatima korkea laatutaso asettaa tuotannolle hyvin korkeat laadunvarmistuskriteerit. Muun muassa yhden tärkeimmistä asiakkaista, Shellin, tärkeimpinä ostokriteereinä ovat kentälaitteiden luotettavuus ja laatu.

Helsingin toimituskeskuksen tulee uudessa roolissa sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin ja kehittää tuotantoprosessejaan räätälöityjen sekä ainutlaatuisten tuotteiden tehokkaan valmistamisen edellyttämälle tasolle.

## 1.2 Tavoite ja rajaukset

Työn tavoitteena on määritellä Metso Automation Oy:n Flow Control -liiketoimintalinjan Helsingin toimituskeskuksen yhdistelmätuotannon muutostarpeet, jotka tulevat edellä mainitusta Global Footprint -tuotantostrategiasta ja asiakasvaatimuksista.

Tarkoituksena on selvittää tilauskohtaisen tuotannon ominaispiirteet ja vaatimukset kokoonpanotuotannon näkökulmasta. Tämä sisältää muun muassa joustavuuteen, informaatioprosessiin ja ennustamiseen liittyvät ominaisuudet. Työssä pyritään löytämään kokoonpanotuotannon kehityskohteita, joilla parannetaan tuotannon ominaisuuksia asiakaslähtöisten tuotteiden tuottamiseksi.

Työn aiheen laajuuden takia kehitysehdotukset on rajattu kohteisiin, joihin kokoonpanotuotannolla on suoraan mahdollisuus vaikuttaa.

### 1.3 Käytettävät tutkimus- ja suunnittelumenetelmät

Tutkimusmenetelminä työssä käytetään kirjallisuustutkimusta, joka on tutkimuksen päämenetelmä. Lisäksi käytetään vertailevaa tutkimusta (benchmarking) sekä kvalitatiivisia menetelmiä, kuten virallisia ja epävirallisia haastatteluja, joiden pohjalta luodaan kuva toimituskeskuksen nykytilasta ja toimintatavoista.

Kirjallisuustutkimuksen avulla kartoitetaan tuotantoa koskevat asiakaslähtöisen tuotannon vaatimukset ja hyväksi todetut menetelmät. Benchmark-tutkimuksen avulla on tarkoituksena löytää konkreettisia hyviä toimintatapoja ja soveltaa niitä Metson tuotannon kehittämiseksi. Tutkimuksessa tarvitaan haastatteluja prosesseista kertovien dokumenttien rinnalla yrityksen nykyisen toimintamallin kartoittamiseksi ja epäkohtien havaitsemiseksi.

Kirjallisuuslähteinä työssä käytetään pääosin tieteellisiä artikkeleita sekä tuotannon kehittämisen peruskirjallisuutta, joten lähteitä voidaan pitää hyvin valideina ja reliaabeleina.

### 1.4 Työn rakenne

Työssä käydään läpi nykypäivän tuotantomallien ja laatufilosofioiden avulla asiakaslähtöistä tuotantoa koskevia neuvoja ja kehityssuuntia. Lisäksi kirjallisuusosuudessa tutkitaan, mitkä ovat tämän päivän kokoonpanotuotannon vaatimukset ja kehittämiskohteet. Kirjallisuuden perusteella muodostetaan asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen malli. Kehittämismallin avulla arvioidaan FC-tuotelinjan nykyhetken tuotannon kehityskohteita. Kehityskohteista valitaan lopuksi viisi tärkeintä konkreettista ehdotusta tuotannon kehittämisen lähtökohdaksi.

## 2 Asiakslähtöinen tuotanto

Yleisesti ottaen Porterin (1998) mukaan yritykset joutuvat valitsemaan kilpailustrategiakseen joko hintajohtajuuden tai erilaistumisen näkökulman. Tuoteräätälöinti voidaan nähdä hybridikilpailustrategiana, jolla on mahdollista saavuttaa molemmista strategioista hyvät puolet. Räätälöinnillä voidaan muokata tuotteet asiakastarpeiden mukaisiksi ja tuottaa tuotteita suoraan asiakkaan tarpeeseen. Suoraan asiakastarpeeseen muokatuilla tuotteilla on selkeä etu kilpailussa soveltuvuutensa osalta (Blecker & Friedrich, 2007).

Tuotteen räätälöinnistä voidaan puhua, jos määrätyn asiakkaan toivomat ominaisuudet huomioidaan jossain vaiheessa operatiivisia toimintoja: suunnittelussa, valmistuksessa, kokoamisessa tai jakelussa. Forza (2007) mainitsee neljä eri räätälöintitasoa: puhdas räätälöinti, räätälöity valmistus, räätälöity kokoaminen ja räätälöity jakelu.

Massatuotetut tuotteet sen sijaan on suunniteltu täyttämään keskivertoisesti asiakkaan vaatimukset. Massatuotetuissa tuotteissa voi näin ollen olla ominaisuuksia ja valintoja, joita asiakas ei tarvitse. Tällöin asiakas maksaa ominaisuuksista, jotka eivät tuo hänelle lisäarvoa. Räätälöidyssä tuotteessa asiakas maksaa vain ominaisuuksista, jotka tyydyttävät hänen vaatimuksensa. (Blecker & Friedrich, 2007.)

### 2.1 Asiakslähtöistä tuotantoa tukevat tuotantoaatteet

Tuotannon erilaiset aatteet ja ajatussuuntauksukset kehittyvät aikakauden mukaan. Usein ne kuitenkin lisäävät ja täydentävät toisiaan syrjäyttämättä täysin edeltäviä suuntauksia. (Stevenson, 2007.)

#### Tuotantoaatteiden kehittyminen räätälöimisen mahdollistamiseksi

Tuotantomallit ja -aatteet ovat muuttuneet vuosien saatossa aina teollistumisen alusta lähtien. Tuotannon kehittymisen voidaan huomata heijastelevan ja vastaavan kuluttajien kysyntämallia. Toisen maailmansodan jälkeen kysyntä oli suurta, mutta tarjonta pientä, jolloin massatuotanto nähtiin sopivaksi tuotannon kehitysmalliksi. Tuotteiden välinen kilpailu oli hintaperusteista. 1980-luvulla kuluttajat alkoivat kiinnittää huomiota enenevässä määrin myös tuotteiden laatuun. Tuotantolaitokset vastasivat tähän kehitysnäkymään tuotteiden laadun parantamisella sekä tuotannon laatuajattelua kehittämällä. Kehityksen seurauksena kuvioihin mukaan tuli lean-tuotantoajattelu samoin kuin joustavat tuotantotavat. Näistä myöhemmin lisää. (Hinatai, 2003.)

Tuotantomallien evoluutio voidaan Narasimhan ym. (2006) mukaan nähdä seuraavasti:



Kuva 1. Tuotantomallien evoluutio (Narasimhan et al., 2006).

SAP-järjestelmän kehittäjien näkemyksen mukaan tuotantomallit ovat kehittyneet alla olevan taulukon mukaisesti (Taulukko 1).

Taulukko 1. Tuotantokäytäntöjen evoluutio (SAP, 2004).

Period	1970s	1980s	1990s	2000 & Beyond
<b>Manufacturing Practice</b>	Push Manufacturing	Lean Manufacturing	Flexible Manufacturing	Adaptive Manufacturing
<b>Key Market Differentiator</b>	Cost	Quality	Availability	Lead Time
<b>Performance Indicators</b>	Production Throughput	Cost Management	Segment Market Share	Customer Satisfaction

Tämän päivän tuotannonohjausta ja strategiaa käsittelevän kirjallisuuden perusteella tuotteet tulevat olemaan luonteeltaan yhä enenevässä määrin ainutlaatuisia sekä teollisuus- että loppumarkkinoilla (Eloranta, 1992). Tämä viittaa näkyvän trendin syntymiseen yhä enemmän ja enemmän räätälöityjen tuotteiden kysynnän suuntaan.

Viime vuosina merkittävän informaatioteknologian (IT) ja informaatiojärjestelmien (IS) kehittymisen myötä teollisten tuotteiden asiakkaiden ja kuluttajien on ollut mahdollista osallistua itse tuotteen suunnitteluprosessiin. Tämä on ollut mahdollista tuotetietojen laajennuksien myötä internet-pohjaisissa tuotekonfiguraattoreissa. Kuluttajien on ollut mahdollista järjestellä ja määritellä tehokkaasti tuotevaatimukset, kuten tietokone valmistaja Dellin tai BMW:n tapauksessa. Vastaava läpinäkyvyys vaatii kuitenkin tuotanto-organisaatiolta vastaanottavaisuutta ja joustavuutta, jotta sen on mahdollista tarjota toimitusketjulle riittävästi informaatiota. (Sharif et al., 2007.)

Esivaatimuksena taloudellisesti toimivalle asiakaslähtöiselle tuotannolle on poistaa toimintatapojen kehittämisen kautta haitat kaikesta, joka estää lyhyiden läpimenoaikojen toteutumisen ja täyden kapasiteetin käytön. Tämä tulisi lisäksi suorittaa siten, että välttämättömät investoinnit kapasiteettiin voidaan supistaa mahdollisimman pieneksi (Zäpfel, 1998). Aikaisemmin tuottajien menestystä voitiin mitata tarkastelemalla yrityksen kykyä tuottaa kustannustehokkaasti yhtä tuotetta. Nykypäivänä menestystä sen sijaan mitataan joustavuuden, ketteryuden ja monipuolisuuden perusteella. Tämän ovat mahdollistaneet kyvyt hallita jatkuvaa kehittymistä ja muutosta. (Jin-Hai et al., 2003.)

Zäpfelin (1998) mukaan konseptit kuten JIT-, Time based- ja lean-tuotantomallit vahvistavat edelleen taipumusta asiakaslähtöisen tuotannon suuntaan. Uudet tuotanto- ja logistiikka-aatteet voidaan nähdä vastaukseksi kilpailun dynamiikalle asiakassuuntautuneessa tuotannossa (Zäpfel, 1998).

Tämänhetkiseksi tuotannon pääfilosofioiksi voidaan nähdä kuitenkin nousseen Bayraktarin (2007) mukaan:

- lean-tuotanto,
- agile-tuotanto ja
- massaräätälöinti.

Lean-tuotantomenetelmän tavoitteena on eliminoida tuotannosta kaikki turha ja ylimääräinen, vähentämällä kustannuksia koko tuotantoprosessista ja hyödyntämällä tuotannon työvoimaa jatkuvan kehittämisen mukaisesti (Womack et al., 1990). Modernein Agile-tuotantomalli valmistelee tuotannon kohtaamaan muutoksia ja epävarmuutta hyödyntämällä tehokkaasti lean-oppeja ja nykYTEknologiaa (Narasimhan et al., 2006). Pinen (1992) massaräätälöinti on lähtöisin ideasta yhdistää parhaat puolet käsityö- ja massatuotannosta. Mallin tavoitteena on laajan räätälöityjen tuotteiden valikoiman tuottaminen ajallaan pienissä erissä ja täydellisellä laadulla sekä pienillä kustannuksilla (Simchi-Levi et al., 2003).

## 2.2 JIT-tuotanto

Japanin teollisuutta siivittänyt Toyota Motor Companyn kehittämä JIT (Just-In-Time) -tuotantoajattelu pyrkii japanilaisen mentaliteetin mukaan eroon tehottomuudesta ja haaskauksesta. Menetelmä tunnetaan myös nimellä TPS (Toyota Production System). Tuotantomenetelmä sai muotonsa Toyotan analysoidessa Fordin tuotantoa ja tarkkailemalla sen ominaisuuksia. Toyotan oli tällä perusteella mahdollista luoda tuotantomenetelmä, joka pystyi hallitsemaan erilaiset variaatiot, mihin Fordilla ei kyetty. Suomessa käytetään JIT-termin sijasta useimmiten JOT-termiä (juuri oikeaan tarpeeseen). (Stevenson, 2007.)

JIT-tuotantomalli etsii tapoja toimittaa tuotteet, ei liian ajoissa eikä liian myöhään, vaan juuri oikeaan aikaan, ”just-in-time”. JIT pyrkii saamaan materiaalin ja tavarat virtaamaan niin kuin ne olisivat jatkuvassa virtaavassa prosessissa (Zäpfel, 1998). Tuotantomallissa pyritään toimimaan muun muassa matalilla varastotasoilla, mahdollisimman pienellä haaskauksella ja minimaalisissa tiloissa. Päämääränä on saavuttaa tasapainoinen ja sulava tuotannon virtaus (Stevenson, 2007).

JIT-filosofian päämääränä on välttää varastojen kasaantumista niin paljon kuin mahdollista. Tilauksien mukaiset lopputuotteet ja niiden tarvitsemat komponentit tuotetaan ja toimitetaan välittömästi. Päämäärän saavuttamisen pohjimmaisena edellytyksenä ovat kaikkien osaprosessien lyhyet läpimenoajat. Lyhyisiin läpimenoaikoihin ei kuitenkaan usein päästä resurssien rajoitusten takia. Rajoituksia luovat Harrisonin ja Schniederjansin (1992) mukaan:

- **pitkät asetusajat ja suuret eräkoot**, joiden seurauksena läpimenoajat muodostuvat kohtuuttomiksi,
- **epäluotettavat tuotantoprosessit**, jotka johtavat aikaa kuluttavaan uudelleentekemiseen,
- **motivoimattoman työvoiman** seurauksena työntekijöiden poissaolot lisääntyvät ja
- **prosessin pullonkaulat**, jotka tekevät tuotantoprosessista tasapainottoman ja pidentävät odotusaikoja.

## 2.3 Time based -tuotanto

Time based -tuotanto perustuu JIT-aatteeseen ja voidaan nähdä JIT-aatteen laajennuksena jokaista tuotteen toimitusketjun osaa kohden. Aika ja nopeus ovat tämän aatteen avainvaatimukset, jotka levittävät JIT-idean koko arvontuottamisketjulle. Tämän seurauksena organisaatio ja tuotanto ohjautuvat kohti nopeampaa vastetta. (Stalk & Hout, 1990.)

Time based -tuotanto on kokoelma aatteita, työkaluja, tekniikoita ja johtamiskäytäntöjä, jotka antavat yritykselle kyvyn vastata nopeasti asiakkaan toiveisiin. Aatteen tärkeimmät elementit ovat Bockerstetin & Shellin (1993) mukaan:

- tasapainottaa ja synkronoida tarjonta kysyntää vastaavaksi,
- tehdä vain se, mitä asiakas tarvitsee ja milloin tarvitsee,
- tehdä vain oikeat toiminnot ja tehdä ne oikein heti ensimmäisellä kerralla,
- karsia turhaa ja
- parantaa jatkuvaa luotettavuutta ja kyvykkyyttä.

Aatteen tärkeänä periaatteena on synkronoida tarjonta asiakkaiden kysynnän mukaiseksi ja siten toteuttaa kysyntään perustuvaa tuotantoa ennustepohjaisen tuotannon sijaan. Tavoitteena on koko arvontuottamisjärjestelmän optimoiminen lähinnä ajan, mutta myös laadun ja kustannusten suhteen vastaavalla tavalla kuin lean-tuotantoaatteessa. (Zäpfel, 1998.)

## 2.4 Lean-tuotanto

Viime vuosikymmenten aikana standardituotteiden tuottajat ovat pyrkineet siirtymään kohti yhä pienempiä eräkokoja, kohti yhden kappaleen ideaalista eräkokoa, parantaakseen tuotannon talouslukuja. Viimeksi mainittua päämäärää on tavoiteltu omaksumalla oppeja muun muassa lean-tuotannosta. (Womack et al., 1990.)

Lean-tuotanto perustuu hyvin pitkälti JIT-tuotantoon ja useimmiten lean nähdään sen laajennuksena. Zäpfelin (1998) mukaan lean-tuotantokonseptin ydin koostuu prosessin ja toimitusketjun systemaattisesta näkemyksestä, työntekijöiden

monitaitoisuudesta, osallistumisesta ja sitoutuneisuudesta sekä hyvin tiiviistä toimittajasuhteista.

Tuottavuuden tehostuminen saavutetaan tekemällä vain vaadittavat tehtävät, olemalla täsmällinen ja nopea, samalla pitäen kuitenkin laatua ensisijaisena. Aatteen periaatteiden mukaisesti on lisäksi mahdollista rikastaa työnkuvaa ja parantaa työmotivaatiota. (Kosonen & Buhanist, 1995.)

Ensisijaiset lean-tuotannon menestyksen mittarit keskittyvät minimointiin läpimenoajoissa, asetusajoissa, tuotannon virtausetäisyyksissä, trukki liikuttamisissa, laatuvirheissä, uudelleentekemisessä, varastoarvoissa, johdon ja tuen väliintuloissa, näköesteiden korkeuksissa (esimerkiksi varastohyllyt) sekä työympäristön epäsiisteydessä (Schonberger, 2007). Vastaavasti Hendry (1998) korostaa lean-tuotantofilosofiassa työprosessin lyhentämistä: lyhennetään läpimenoaikoja, lyhennetään tavaroiden ja materiaalin etsimisaikaa sekä parannetaan työntekijöiden näkyvyyttä, millä edelleen edistetään ryhmätyötä.

### 2.4.1 Lean-tuotannon rakenne

Lean-tuotanto koostuu tuotesuunnittelusta, prosessisuunnittelusta, henkilökunta- ja organisaatioelementeistä sekä tuotannon suunnittelusta ja ohjauksesta (Stevenson, 2007).

#### Lean-prosessi- ja tuotesuunnittelu

Lean-tuotanto näkyy tuotesuunnittelussa pyrkimyksinä standardeihin, yleiskäyttöisiin osiin. Tuotteen rakenteessa pyritään moduulimaiseen rakenteeseen, joka helpottaa ja yksinkertaistaa kokoonpanoa. Jo tuotesuunnittelussa huomioidaan tuotantomenetelmät, jotta niiden kyvykyys valmistusvaiheessa olisi taattu. Tuotekehitystä nopeutetaan hyödyntämällä rinnakkaista kehittämistä. (Stevenson, 2007.)

Tuotantoprosessissa lean-mallille on ominaista pienet eräkoot ja olennaista jatkuva laadun parantaminen. Tuotannon tulee toimia joustavasti ja se perustuu usein solumaiseen rakenteeseen. Asetusajat pyritään saamaan mahdollisimman minimaalisiksi tehokkaan tuotantoajan lisäämiseksi. Varastotasot lean-tuotannossa pidetään mahdollisimman matalalla. (Stevenson, 2007.)

#### Lean-organisaatioelementit

Lean-tuotanto on riippuvainen jatkuvan parantamisen filosofiasta. Laatu- ja vastuuvaatimukset edellyttävät ongelmanratkaisukykyä ja jatkuvaa kehittymistä. Toimitusketjun ja prosessin systemaattista näkemystä tarvitaan, jotta toimintaa voidaan optimoida jatkuvan kehittämisen avulla. (Imai, 1986). Ongelmanratkaisutaito on yksi lean-tuotannon tärkeimmistä kulmakivistä. Häiriötapauksista tulisi päästä mahdollisimman nopeasti eroon ja estää niiden

uudelleen ilmaantuminen, jotta tuotannon tasainen virtaus ei häiriintyisi. (Stevenson, 2007.)

### Työntekijät lean-organisaatiossa

Lean-tuotannossa työntekijät ovat tärkeässä roolissa ja muodostavat tärkeän tuotannon pääoman. Työntekijöille annetaan enemmän toimivaltaa, mutta heidän odotetaan myös tekevän enemmän. Tuotannon joustavuutta lisätään työvoiman ristiinkoulutuksella, jolloin työntekijät voivat auttaa toisiaan pullonkaulojen ilmetessä tai korvata toisiaan poissaolotapauksissa. (Stevenson, 2007.)

Työvoiman osallistumista prosessien ja tuotteiden uudelleensuunnitteluun painotetaan. Ryhmätyö ja sitoutuminen työhön ovat tärkeät tunnusomaiset piirteet lean-tuotantokonseptille. Kaikki työtehtävät tulisi laajentaa mahdollisuuksien mukaan äärimmilleen työntekijän kykyihin nähden. Työntekijöiden täytyy pystyä siirtymään tehtävästä toiseen ja siten voida reagoida kysynnän joustoon ja kapasiteetin vaihteluihin. (Zäpfel, 1998.)

Kouluttaminen ja monitaitoinen henkilöstö ovat vaatimuksia lean-konseptille. Monitaitoinen henkilöstö mahdollistaa joustavien tiimien muodostamisen sekä takaa tiimien ominaisuudet tuotannonohjaamiseksi ja ongelmatilanteiden ratkaisemiseksi. Osaava henkilöstö voi myös paikata ja avustaa toinen toisiaan tarpeen vaatiessa (Kosonen & Buhanist, 1995).

Johtajien odotetaan olevan vetäjiä ja edistäjiä, ei käskyn antajia. Konsepti rohkaisee kaksivuoroiseen kommunikointiin (Stevenson, 2007).

### Tuotannonsuunnittelu ja ohjaus lean-tuotannossa

Tuotannonohjaus perustuu lean-tehtaassa työkuorman taso-ohjaukseen ja tuotteiden tasaiseen virtaukseen. Taso-ohjauksella pyritään tasoittamaan työntekijöiden välinen työkuorma ja takaamaan tuotannon tasainen virtaus. Tuotanto ja varastot ovat pitkälti imuohjautuvia. Tilauksen perusteella varataan tarvittava määrä komponentteja aina aikaisemmasta työvaiheesta, toisin sanoen siirrytään kohti tuotannon ylävirtaa.

Lisäksi lean-tuotanto hyödyntää paljon visuaalisia järjestelmiä.

Tuotannonohjauksessa pyritään visualisuuteen käyttämällä varastojen täydennyksissä *kanban*-kortteja ja tuomalla tuotantosuunnitelma kaikkien nähtäväksi. Kanban on imuohjauksen edellyttämä informaatiojärjestelmä, jossa edeltävälle työprosessille annetaan lupa tuottaa määrätty määrä komponentteja visuaalisen kortin mukaisesti. Kaiken kaikkiaan tuotannon visuaalisuuden tulisi olla hyvä, jotta epäselvyyksiltä ja sekaannuksilta vältyttäisiin. (Stevenson, 2007.)

Kone-casesta (1994) käy ilmi lean-tuotannonohjauksen visuaalisuuteen pyrkiminen. Asiakastilaus tulee myyjän välittämänä standardimuodossa paperilla, joka sisältää kaiken olennaisen tiedon tuotteesta. Tuotannonohjaus ja suunnittelu toimivat visuaalisesti käyttämällä samaa paperia ilmoitustaululla. Tuotantoaikataulu on näin aina näkyvissä. Sama paperi kiinnitetään lopulta pakettiin. (Kosonen & Buhanist, 1995.)



## Toimittajasuhteet lean-organisaatiossa

Toimittajasuhteet lean-tuotannossa ovat tiiviitä yhteistyövalmistajasuhteita, kumppanuuksia. Ostaja ja tarjoaja kehittävät tiiviissä suhteessa pitkäikäisiä toimitusstrategioita (Zäpfel, 1998). Lean-organisaatiomalli vaatii tavarantoimittajilta täsmällisyyttä ja laatua (Kosonen & Buharist, 1995).

### 2.4.2 Lean-tuotannon mittaaminen

Tuotantoprosessien keskittyessä yhä tiiviimmin arvoa tuottamattomien toimien poistamiseen prosessista tulee ajantasainen ja aiheellinen palaute tehtaan lattiatasolta yhä vain olennaisemmaksi tekijäksi. Lyhyemmät palautekierrot tekevät organisaatiosta reagoitukykyisemmän. (Cobb, 1993.)

Lean-tuotannon tulisi keskittyä mittareiden asettelussa enemmän muihin kuin suoraan rahaan perustuviin mittareihin, kuten toimittajien toimitusaikoihin ja toimittajien tuottamaan laatuun. Perinteisiä mittareita, kuten työn ja koneiden tehokkuuden mittaamista tulisi hyödyntää vähemmän. (Foster and Horngren, 1987.)

### 2.4.3 Vaikeudet lean-tuotannon soveltamisessa

Osa kritikoista on sitä mieltä, että lean-filosofia on käypä vain japanilaisessa organisaatiokulttuurissa (Buharist, 1994 Kone-casen yhteydessä). Filosofia vaatii paljon työntekijöiltä, mutta vastapainoksi se laajentaa työnkuvaa ja tarjoaa heille mielenkiintoisempia tehtäviä.

Yhtä lailla lean-tuotantomallia on kritisoitu sen soveltuvuudesta hyvin pelkkiä toistoja sisältävään tuotantoon. Tutkijoiden mukaan 50 prosenttia komponenteista, jotka muodostavat alle viisi prosenttia yrityksen kokonaisvolyymistä, kutsutaan kummajaisiksi, joiden valmistamista lean-mallin mukaisesti ei pidetä järkevänä. (Hendry, 1998.)

Lean-tuotannon tavoitteet vaikuttavat universaalisti sovellettavilta, mutta lean-tuotannon metodit painottuvat lähinnä vanhojen massatuotannon menetelmien korvaamiseen. Metodit ohjaavat siirtymiseen perinteisistä funktionaalisuuteen perustuvista työpisteistä (*job shop* -layoutista) tuoteperheisiin keskittyviin työpistekokonaisuuksiin (*solulayoutiin*). Näin on mahdollista tuottaa suuria määriä tuotteita matalammilla tuotantokustannuksilla tarjoten kuitenkin samalla runsaampaa tuotevalikoimaa asiakkaille. Kyseisiä metodeja on sovellettu laajalti auto- ja kulkuneuvoteollisuuteen sekä muille teollisuudenaloille, jotka ovat olleet aikaisemmin massatuotannon saralla. (Hendry, 1998.)

## 2.5 Agile-tuotanto

Agile-tuotantomalli on viimeisimpiä esiin nousseita tuotantoaatteita ja samalla yksi tutkituimmista malleista tänä päivänä. Agilella on paljon yhteistä lean-aatteen kanssa. Tutkijoiden mielestä agile-mallia voidaan pitää lean-mallin kehittymisen tuloksena (Narasimhan et al., 2006). On mainittu, että agile-malli olisi vastaus tuotannolle tuotevariaatioiden hallitsemiseksi, minkä puitteissa lean-mallia on kritisoitu.

Iacocca-instituutin (1991) tutkimuksissa havaittiin tuotannolle uusia kriittisiä ominaisuuksia, kuten sopeutuminen jatkuvaan muutokseen, tuotannon nopea vaste, laadun jatkuva kehittäminen ja tuotantolaitoksen sosiaalinen vastuu. Näiden tutkimusten ja havaintojen perusteella syntyi ketteryteen (*agility*) perustuva tuotantokonsepti. (Jin-Hai et al., 2003)

Ketteryyteen perustuva tuotantokonsepti vaatii käyttöönsä tietoa markkinoista hyödyntääkseen nopeasti muuttuvien markkinoiden luomia mahdollisuuksia (Narasimhan et al., 2006).

Alan tutkijat (Iacocca, 1991) keskittivät 1990-luvulla tutkimuksensa agile-konseptin sisältämiin tärkeisiin elementteihin (Jin-Hai, 2003):

- tuotannon vaste muutokseen ja epävarmuuteen,
- ydinosaamisen rakentaminen,
- laaja räätälöityjen tuotteiden tarjonta,
- monipuolinen teknologian hyödyntäminen sekä
- yrityksen sisäinen ja ulkoinen integroituminen.

Agile-tuotantoon yhdistetyt tuotannon ominaisuudet painottuvat viimeisimmän tuotantoteknologian hyödyntämiseen, toimittajien tiiviisiin liittoihin, korkean ammattitason työntekijäkoulutukseen, asiakastuntemukseen sekä myynnin ja tuotannon yhteistoimintaan (Brown and Bessant, 2003; Prince & Kay, 2003).

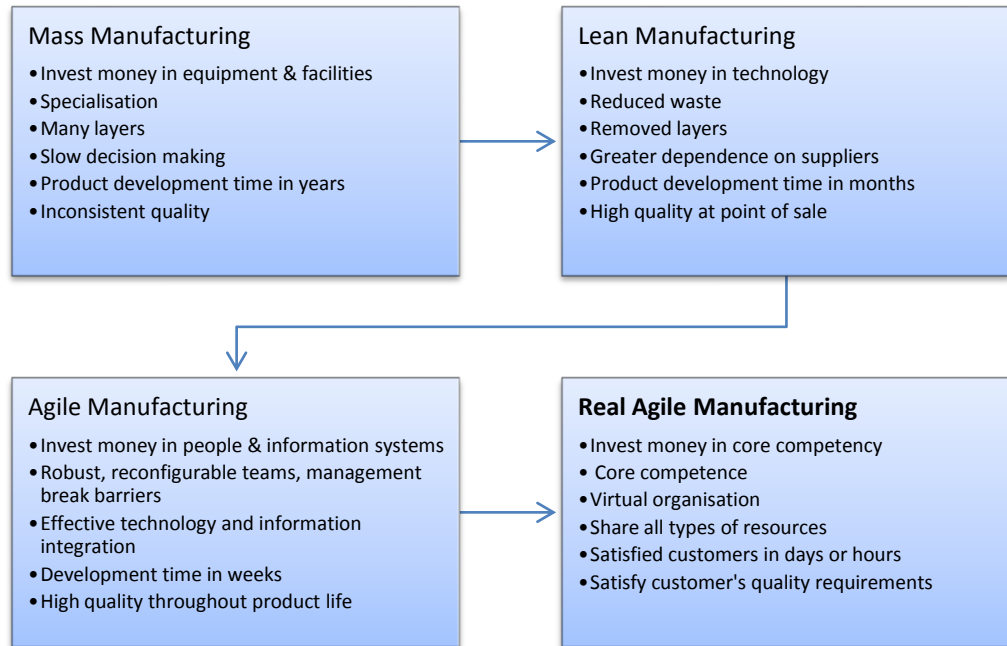
Agilen-tuotantofilosofian tarkoitus on valmistella tuotanto muutoksiin, ja aatteen painopisteet ovat sen mukaiset (Jin-Hai, 2003):

- viimeisimmän teknologian hyödyntäminen: erityisesti informaatioteknologia,
- työntekijöihin panostaminen: korkea taito- ja osaamistaso sekä moniosaaminen,
- toimittajien kumppanuuden syventäminen,
- JIT-virtauksen ja layoutin kehittäminen ja
- asiakassuhteiden tärkeys.

Agile-tuotannon toteuttaminen vaatii yrityksen toiminnoilta lean-tuotannon menettelytapoja. Lean- ja agile-tuotantomenetelmien yhteisinä piirteinä nähdään työntekijöiden ristiinkoulutus ja vastuukentän laajentaminen, tiimien ja solujen hyödyntäminen, erityisten suhteiden luominen toimittajiin sekä voimakas tuotantostrategia. (Narasimhan et al., 2006.)

### 2.5.1 Agile-tuotanto verrattuna muihin

Vertailututkimukset lean- ja agile-suorittajien välillä osoittavat, että työvoiman kehittämiseen, laadun ja toimittajien hallintaan, JIT-virtaukseen ja layoutiin sekä viimeisimmän teknologian hyödyntämiseen liittyviä käytäntöjä painotetaan selvästi enemmän agile- kuin lean-suorittajien keskuudessa. Siten näiden toimialueiden kehittämistä voidaan pitää edellytyksinä lean-suorittajasta ja agile-suorittajaksi kehityttäessä (Kuva 2). (Narasimhan et al., 2006.)



Kuva 2. Periaatteelliset erot lean- ja agile-tuotantofilosofoiden välillä (Jin-Hai et al., 2003)

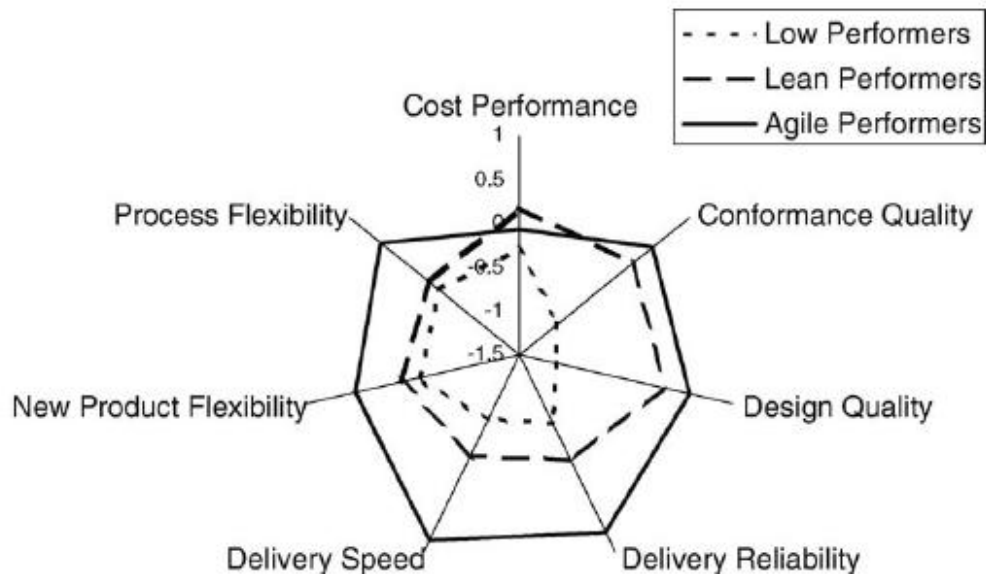
Jin-Hain (2003) mukaan agile-tuotantomalli vaatii olennaisesti strategisen näkökulman sisällyttämistä tuotantoprosesseihin, missä taas lean-tuotanto tavanomaisesti yhdistetään vain toimintaan tehtaan lattialla. McCullen ja Towill (2001) esittävät, että kumppanuussuhteet toimittajiin, JIT-tuotanto ja kehittyneet teknologiat ovat tärkeitä agile-tuotannon mahdollistajia. Tutkijat korostavat myös korkean osaamistason sekä osaavien ja valtuutettujen työntekijöiden tärkeyttä. Narasimhanin (2006) päätelmät tukevat myös samoja väitteitä. Näiden käytännönalueiden hyödyntämisen tehokkuuden perusteella agile-suorittajat eroavat lean-suorittajista.

Narasimhanin (2006) vertaili tutkimuksissaan lean-mallin, agile-mallin ja alisuoriutuvasti toimivien tehtaiden suorituskyyä ja käytäntöjen tasoa. Suorituskyyä arvioitiin seuraavien mittareiden perusteella:

- toimitusnopeus,
- prosessien joustavuus,
- tuotesuunnittelun laatu,

- toimitusvarmuus,
- laadun yhtenäisyys,
- uuden tuotteen joustavuus ja
- kustannustehokkuus.

Tutkimusten perusteella tuotannon ketteryys edustaa edistyksellisempää tasoa tehtaan suorituskyvyn ja kykenevyyden perusteella. Agile-tehdas oli vertailussa samalla tasolla tai ylitti muiden tehtaiden kaikki suorituskykymittarit (Kuva 3). Poikkeuksena oli vain kustannustehokkuus, jossa lean-malli toimi tehokkaimmin. (Narasimhan et al., 2006.)



**Kuva 3. Mittaustulokset eri suorituskyky mittareilla (Narasimhan et al., 2006)**

Tehokkuustutkimusten perusteella agile-tuotantoaate on yksi tehokkaimpia olemassa olevia tuotantomalleja tämänhetkisessä tuotantoympäristössä. Agile-tuotannolla on paljon yhteistä lean-tuotannon kanssa, ja sen painopisteet nojaavat samoihin toimintoihin: työntekijöiden monitaitoisuus ja osaaminen, läheinen alihankintaverkosto, tuotannon joustavuus sekä JIT-virtaus. (Narasimhan et al., 2006.)

## 2.6 Tuotantofilosofioista mallia asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiseen

Moderneissa asiakaslähtöisissä tuotantomalleissa (lean ja agile) on havaittavissa yhteneviä tuotannon kehityskohteita ja tavoitteita. Yhteneviä tuotantoa koskevia kehityskohteita asiakaslähtöisissä tuotantomalleissa ovat:

- jatkuva kehittäminen,

- tuotesuunnittelun kehittäminen: tuotteiden moduulimaisuus ja tuotantosuuntautuneisuus,
- työntekijöiden monitaitoisuus ja osaaminen sekä korkea työmotivaatio,
- tuotannon joustavuus,
- alihankintaverkoston tiiveys ja
- tuotannon visualisisuuden parantaminen.

Modernein agile-malli painottaa lisäksi tuotannon kehittämisessä muun muassa viimeisimmän teknologian hyödyntämistä ja informaatiovirtojen hallintaa.

Yhtenä tärkeimmistä tavoitteista asiakaslähtöisillä tuotantomalleilla on läpimenoajan minimointi. Toinen mallien tärkeä tavoite on tuotannon joustavuus.

### 3 Laatufilosofiat tukemassa asiakaslähtöisen tuotannon kehittämistä

Laatuajattelu on ollut tärkeä osa tuotannon kehittämisessä aina 1980-luvulta lähtien jatkuen tähän päivään saakka. Laatujärjestelmät luovat omat vaatimuksensa tuotannon kehittämiselle ja ne on tärkeä huomioida tuotantoa kehitettäessä.

Laadulla on tuotantolaitokselle aina omat kustannuksensa ja ne syntyvät laadun arvioimisesta, virheiden ennaltaehkäisemisestä ja virheiden korjaamisesta aiheutuneista kustannuksista (Stevenson, 2007).

Laatuinformaatio koostuu systemaattisesti kerätystä tiedosta, joka on peräisin ongelmanratkaisusyklin kaikista vaiheista: kriittisten ongelmien tunnistamisesta, niiden pohjimmaisten syiden analysoimisesta ja ratkaisujen muodostamisesta. (Hackman and Wageman, 1995).

Perinteiset laadunhallintamenetelmät korostavat kirjallisuuden mukaan laatuinformaation saatavuuden, tarkkuuden ja nopeuden tärkeyttä (Flynn et al., 1994).

Viime vuosina laatua koskevat tutkimukset ovat keskittyneet seuraaviin laatuajattelusuuntauksiin (Bayraktar et al., 2007):

- TQM (Total Quality Management),
- Six Sigma,
- KM (Knowledge Management) ja
- CRM (Customer Relationship Management).

TQM laajentaa laaduntarkkailun koko tuotantoprosessia koskevaksi. Six Sigma on hierarkkiseen rakenteeseen perustuva laatujärjestelmä, jossa toiminnot tapahtuvat projektimuotoisina. KM käsittelee laatua tietämyksenhallinnan kautta. CRM keskittyy asiakastarpeiden tulkitsemiseen ja täyttämiseen. (Bayraktar, 2007)

Laatuajattelusuuntauksista TQM ja Six Sigma ovat hyvin läheisesti kytköksissä tuotannon toimintoihin, kun taas KM keskittyy yleiseen tietämyksen hallintaan ja CRM tarkastelee suoraan asiakasrajapintoja. Työssä on tarkoitus perehtyä menetelmiin, jotka ovat läheisesti tuotantoon liittyviä. Tästä syystä työssäni tarkastellaan lähemmin TQM ja Six Sigma -periaatteita ja KM sekä CRM rajataan työn ulkopuolelle.

#### 3.1 TQM, laaja-alainen laatuajattelu

TQM laatuajattelu laajentaa perinteistä näkemystä laatutarkkailusta, jossa tarkkailtiin vain lopputuotteen tai palvelun laatua. TQM:ssä otetaan huomioon koko tuotantoprosessi. Tarkoituksena on estää huonon laadun esiintyminen kaikissa prosessin vaiheissa. TQM-laatuajattelu piti 1990-luvun valta-asemaa sekä

teoreettisena, että empiirisenä mallina, ja sen osatekijöitä puolustivat johtavat laatututkijat. (Schroeder, 2008.)

Laaja-alaisen laatuajattelun tarkoituksena on suunnitella prosessi toimimaan siten, että prosessin tehtävät suoritetaan oikein heti ensi yrittämällä. Heikot lenkit tulee pyrkiä paikantaa ja välttää ongelmien syntyminen ennalta. Jos ongelmia esiintyy, ne on selvitettävä, jotta välttyttäisiin vastaavilta ongelmilta jatkossa. Systeemi- ja tuotesuunnittelun avulla yritetään luoda prosessi, jossa virheitä on lähes mahdotonta tehdä, japanilaisittain *pokayoke*.

TQM sisältää kolme pääfilosofiaa (Schroeder, 2008):

- jatkuva kehittäminen, japanilaisittain *kaizen*,
- kaikkien osallistuminen ja
- asiakastyytyväisyys.

TQM:n tärkeä perusajatus on jatkuva kehittäminen, *kaizen*. Jatkuvaa kehittämistä voidaan pitää japanilaisen tuotantoajattelun kulmakivenä. Jokainen työntekijä TQM-laatuajattelussa kantaa vastuun tekemänsä työn laadusta. Työntekijä toimii oman työnsä laaduntarkastajana ja päästää osaprosessin eteenpäin, kun se täyttää laatuvaatimukset. (Stevenson, 2007.)

### 3.1.1 Jatkuvan parantamisen filosofia, *kaizen*

Kaizen-käsite on saanut paljon huomiota Japanin menestyksen avaimena (Imai, 1986). Viimeisten vuosikymmenten aikana on tehty merkittävä määrä tutkimuksia, jotka ovat keskittyneet japanilaisiin tuotantotekniikoihin (Schonberger, 1986), Toyota Production Systems:iin (Liker, 2004) ja lean-tuotantoon (Womack et al., 1990). Edellä mainitut tuotantoaatteet ovat tuoneet esille *kaizenin* merkittävyyden.

Jatkuva kehittäminen, *kaizen*, on toinen Toyotan filosofian kahdesta tukipilarista. Tarkoituksena Toyotalla ei ole luoda lean-järjestelmää, joka pelkästään edistää kustannusten pienentämistä, vaan myös virheistä oppimista ja innovaatioiden tavoittelua. (Kajiwara, 2002.)

Kaizenin ydinidea Japanilaisen tuotantoajattelun mukaan perustuu *mudasta*, ”jätteestä” eroon pääsemiseen. Kaizen-toiminnot perustuvat mudan tunnistamiseen ja karsimiseen (Imai, 1997). Mudan poistaminen tarkoittaa lisätyn arvon paranemista suhteessa tehtyyn työhön. Toimintojen tehostaminen tapahtuu seitsemän eri tyypin jätteen karsimisesta: ylituotanto, ajan haaskaaminen, ylimääräinen kuljettaminen, prosessin heikkoudet, varastoiminen, turha liikuttaminen ja puutteellisten tuotteiden tuottaminen (Ohno, 1988).

Kolmella eri tyypin organisatorisella kyvyllä on määrätty rooli japanilaisissa *kaizen*-toiminnoissa. Näihin kykyihin luetaan organisatoriset kyvyt rohkaista työntekijää oma-aloitteisuuteen, organisaation kyvyt edistää eri toimintojen välistä kommunikaatiota ja organisaation kyvyt kurinalaistaa työntekijät. (Aoki, 2008)

Hyvin tärkeässä roolissa kaizen-toiminnoissa on työntekijöiden oma-aloitteisuus osallistua ja tuoda esille omat mielipiteensä omista työtehtävistään (Aoki, 2008). Japanilaiset kaizen-toimet eivät ole pelkästään vain vapaaehtoisia työntekijöiden keskuudessa, vaan organisaationlaajuisia toimia jatkuvan ongelmanratkaisusyklin toteuttamisen varmistamiseksi (Imai, 1997). Aokin (2008) mukaan organisaation kyvykyys varmistaa työntekijöiden kurinalaisuus ja sopeutuminen yrityksen tapoihin tehdä töitä on määrättyssä roolissa japanilaisissa kaizen-toiminnoissa. Työntekijöiden kurinalaisella toiminnalla työnormien tai 5S:n mukaan on kriittinen rooli kaizen-toimissa. 5S:stä lisää myöhemmin luvussa kuusi. (Aoki, 2008.)

Mudan havaitsemiseksi Toyotalla käytetään työnormeja. Jokaisella työpisteellä on esimerkiksi ohjeistus, jotta työnvalvoja voi päätellä seuraako operaattori ohjeistusta (Liker, 2004). 5S tai tehokas siisteyden ylläpito (*housekeeping*) luovat työjärjestyksen, joista *muda* on helposti havaittavissa (Imai, 1997).

Jatkuva kehittyminen voi seurata automaattisesti suorituskymmittauksien ja järjestelmävertailujen seurauksena. Nämä tarjoavat sysäyksen muutokseen korostamalla ongelma-alueita. Tällaisen kulttuurin uskotaan jatkuvan, koska parannukset ovat tarpeen kaikille tuotantotyypeille. (Hendry, 1998)

### 3.2 Six Sigma -laatuajattelu

Six Sigma -laatuajattelun eroavaisuus muihin käytössä oleviin laatufilosofioihin kuten TQM:ään verrattuna on ollut kiistanalainen. Joidenkin mielestä se on vain viimeisin TQM:n muoto (McManus, 1999). Jotkut ovat taas sitä mieltä, että se on jotain uutta (Pande et al., 2000). Joka tapauksessa Six Sigma -laatuajattelussa on paljon vastaavia ominaisuuksia kuin TQM:ssä (Schroeder et al., 2008).

Six Sigma -roolirakenteessa on hierarkkisesti koordinoitu työntekokoneisto laadun parantamiseksi useilla organisaatiotasolla (Sinha & Van de Ven, 2005). Esimerkiksi vanhimmat johtajat voivat toimia *Champion* (mestarin) -roolissa tehden organisaatiota koskevia strategisia parannussuunnitelmia, mustan vyön omaavat päälliköt johtavat Six Sigma -kehitysprojekteja ja vihreän vyön ”ohjaajat” ratkaisevat operatiivisia ongelmia (Sinha & Van de Ven, 2005).

#### Six Sigman erot TQM:ään nähden

Six Sigma vaatii kurinalaisen näkökannan mittauksien ja kehittämisen suorittamiseksi, mikä ei ole ollut ilmiselvää aikaisemmissa laadunparannusaatteissa. Six Sigma hyödyntää omaleimaisia ja erityisiä mittareita kuten *defects-per-million-opportunities* (DPMO), *critical-to-quality* (CTQ) ja *process sigma* suorituskyyä mitattaessa. Mittarit vaikuttavat korostavasti kehittämisen tärkeyteen ja rohkaisevat vaikeisiin, mutta saavutettaviin kehittämisen päämääriin. (Schroeder et al., 2008.)

Six Sigman erona muihin laatuajattelumalleihin on, että suurimmassa osassa Six Sigma -projekteja vaaditaan taloudellisesti nähtäviä tuloksia. Taloudellinen painopiste on siis projektitasolla, kun taas TQM:ssä se on organisationalisella tasolla.



Tämä taloudellisen hyödyn selvitysten edellyttäminen kehitysprojekteilta on useimmille organisaatioille uutta. (Schroeder et al., 2008.)

Rakenteellisten menetelmien käyttö prosessien parantamiseksi tai uusien tuotteiden ja palveluiden esittämiseksi ei ole täysin uutta laatuajattelurintamalla. Kuitenkin rakenteellisen mallin seuraamisen intensiivisyys, kokopäiväisten specialistien tiivis koulutus sekä staattisten ja dynaamisten työkalujen integrointi ovat ainutlaatuista Six Sigma -ajattelussa. (Schroeder et al., 2008.)

Erona vielä aikaisempiin aatteisiin Six Sigma -ajattelu käyttää merkittävän määrän täysipäiväisesti toimivia kehittämisen asiantuntijoita, mikä on uutta monille organisaatioille (Schroeder et al., 2008).

### **3.3 Laatuaatteiden vaikutukset tuotannon kehittämiseen**

TQM-laatuajattelu korostaa tuotantomallien tapaan jatkuvaa kehittymistä ja työntekijöiden osallistumista sekä oma-aloitteellisuutta tuotannonprosessien kehittämisessä. Lisäksi kaizen-toimien välityksellä tärkeäksi nähdään myös työnormien hyödyntäminen ja järjestelmien vertailu, benchmarking.

TQM:n tapaan Six Sigma ei tarjoa yleispäteviä neuvoja tuotannon kehittämiseen. Six Sigma hyödyntää enemmänkin projektimaista laadunhallintaa ja laadun mittareiden kurinalaista käyttöä.

## 4 Tuoteräätälöinti

Yksi yrityksen strategisista valinnoista on tuotteen valmistaminen joko suoraan varastoon tai asiakastilausta vastaan. Valinta liittyy yrityksen päämääriin: miten yritys haluaa tarjota palveluja asiakkailleen ja haluaako se tuottaa standardeja vai räätälöityjä tuotteita. (Maruchek & McClelland, 1986.)

### 4.1 Tuoteräätälöinnin haasteet

Tuoteräätälöinti luo massatuotannosta poiketen useita haasteita (Blecker et al., 2005):

- tuotannon riittävää joustavuutta on vaikea saavuttaa,
- tuotantoprosessit saattavat vaatia kalliita investointeja joustaviin laitteistoihin ja monitaitoisen työvoiman hankkimiseen sekä
- myyntiprosessin virheet edellyttävät korjaustoimia (*fire fighting*) tuotannossa.

Määrittelyvirheistä johtuvat korjaustoimet tuotannossa voivat viedä jopa 80 prosenttia tilauksen käsittelyajasta. Syynä voi olla virheellinen tuoterakenne tai tilaus, kadoksissa olevat osat taikka virheet komponenttien toimitusaikatauluissa. (Blecker et al., 2005.)

### 4.2 Asiakaslähtöinen tuotantostrategia

Jotta yritys voi olla menestyvä, sen on tehtävä perustehtävänsä hyvin, ja mikään ei ole perustavampaa kuin tuotanto ja markkinointi. Liian usein tuotantostrategian lähtökohdat eivät kuitenkaan ole hyvin suunniteltuja, eivätkä ne ole linjassa markkinointistrategian kanssa. Yksi tavanomainen syy tähän on se, että yritys ei sulautu tuotannon näkökulmaa strategisiin avainpäätöksiinsä. Tämän tuloksena sidokset yrityksen tavoitteiden, markkinointistrategian ja tuotannon toimintojen välillä ovat hataria. Hyvin usein oletetaan, että tuotanto vain selviää strategian sille asettamista odotuksista. (Berry, 1995.)

Suurin osa tuotantoa koskevaa kirjallisuutta (esimerkiksi Stevenson, 2007) luokittelee muut kuin varastoon tuottavat yritykset kolmeen tyyppiin niiden tilauskannan luonteen mukaan: kokoonpantavat (ATO, Assembly to Order), tilauksen mukaan valmistettavat (MTO, Make to Order) ja tilauksen mukaan suunniteltavat (ETO, Engineer to Order).

**ATO-tuotanto:** Asiakkaalle tarjotut lopputuotteet, vaikkakin ne sisältävät hiukan räätälöintiä, on tuotettu standardeista osista, joista voidaan kasata useampia eri vaihtoehtoja. Tilauksen saapuminen käynnistää tuotteen kokoamisen asiakasvaatimusten mukaisesti. Komponentit ovat joko sisäisesti valmistettuja tai alihankittuja, ja varastoitu ennakoivasti tulevaisuuden asiakastilauksia ajatellen. (Amaro et al., 1999.)

**MTO-tuotanto:** Suurin osa tai kaikki tuotteen valmistamiseen liittyvät toiminnot aloitetaan vasta, kun asiakastilaus on saatu. Joissakin tapauksissa materiaalit ja komponentit voidaan joutua valmistamaan myös tilauksen mukaan. Tuotteen räätälöintimahdollisuudet ovat suuremmat kuin ATO-tuotannossa. (Amaro et al., 1999.)

**ETO-tuotanto:** Tuotteet tuotetaan vastaamaan määrättyjä asiakastarpeita. Tuotteilta vaaditaan yksilöllistä suunnittelua ja merkittävää räätälöintiä. Asiakastilaus sisältää yksilöllisiä komponentteja, tuoterakenteita ja reitityksiä. ETO-tuotantoa kutsutaan myös projektipohjaiseksi tuotannoksi. (Amaro et al., 1999.)

Standardituotteiden valmistuksessa hyödynnetään lähes aina suoraan varastoon tuottamista eli niin kutsuttua MTS-tuotantoa (Make to Stock). MTS-tuotanto myy tuotteet suoraan varastosta kuten massatuottajat. Tuotteet eivät ole tilauskohtaisia eikä niihin kohdistu erikoisvaatimuksia. Lisäksi tuotanto alkaa jo ennen kuin tilaus saapuu. (Amaro et al., 1999.)

#### 4.2.1 Asiakaslähtöisen tuotantostrategian vaatimukset

MTO-strategia tukee ajatusta, jossa arvoa lisäävät toimet, kuten jakelu, kokoonpano, tuotanto ja suunnittelu, ovat asiakastilauksen käynnistämiä. Näin ollen MTO-strategian voidaan katsoa koskettavan nimenomaan asiakaslähtöistä tuotantoa. Erityisen houkuttelevana MTO-strategia voidaan nähdä esimerkiksi silloin, kun markkinatilanne on sekasortoinen, jolloin ennustaminen on hankalaa ja ennustusvirheet suuria. (Salvador, 2007.)

MTO-toimitusketjut sisältävät Andersonin (2004) mukaan seuraavat viisi avainkomponenttia:

**Tuotetiedon hallinta ja muokkaus** sallii asiakkaan, ei pelkästään katsoa tuotekuvastoa, vaan myös täydentää valitun tuotteen tai palvelun räätälöintiä koskevaa tietoa tuotekonfiguraattorin avulla.

**Impulsiivinen kokoamisprosessi**, jolla on kyky ottaa vastaan kaikki täydennetyt vaatimukset ja prosessoida ne mahdollisimman nopeasti riittäviä raaka-aine- ja komponenttivarastoja käyttäen. Varastojen tehokas täyttömekanismi on mahdollista informaatioteknologian ja informaatiojärjestelmien avulla.

**Varastojen strategisen ohjaamisen** tulee turvata varastotasojen pysyminen optimaalisella tasolla, jotta voidaan vastata sekä standardien että räätälöityjen tuotteiden kysyntään (Rivard-Royer et al., 2002).

**Kanban-varastojen uudelleentäyttö** (Imai, 1986) pitäisi automatisoida keskeytymättömäksi prosessiksi, joka aktivoituu aina, kun määrätty varastotaso alitetaan.

**Talon sisäinen ydinosaamista vaativien osien valmistus** on MTO-organisaation keskeinen osatekijä. Edellytykset asiakasvaatimusten mukaisen tuotteen

valmistamiseksi ovat paikanpäällä: omavalmistus, kokoonpano ja hankinta. (Irani et al., 1997.)

### 4.3 Räättälöintitasot tuotannossa

Korkeampien tuotantokustannusten lisäksi tuoteräättälöinti luo kaksi ongelmaa: kuinka koordinoida operatiiviset toiminnot ja toisaalta kuinka prosessoida tuotteeseen liittyvä tieto. Vaikeustaso on kiinni siitä, minkä tasoinen räättälöinti on kyseessä. Vaikeustaso kasvaa useamman operaatiotason osallistuessa tuoteräättälöintiin. Räättälöintitasot voidaan jakaa operaatioiden osalta kahteen osaan: tilauksen käsittelyprosessi ja tilauksen täyttämispöessi. (Forza, 2007.)

Tilauksen täyttämiseksi yrityksen haasteena on usein siirtää asiakkaan vaatimukset yrityksen sisällä eri osastoille tuotedokumentin muodossa. Ongelmaksi muodostuu usein yrityksen sisäinen informaatiopöessi. Tilauksen täyttämiseksi eri räättälöintitasot vaativat eritasoisia määrittelyjä (Kuva 4). (Forza, 2007.)

Tilauksen käsittelyvaiheessa tulee kerätä tiedot tuotteen (palvelun) valinnoista ja parametreista. Tämä koskee seuraavia räättälöintitasoja: puhdas räättälöinti, räättälöity valmistus, räättälöity kokoaminen ja räättälöity jakelu. Näillä tasoilla voidaan puhua valinnan problematiikasta. (Forza, 2007.)

	VARIETY WITHOUT CUSTOMIZATION	CUSTOMIZED DISTRIBUTION	CUSTOMIZED ASSEMBLY	CUSTOMIZED FABRICATION	PURE CUSTOMIZATION
ORDER ACQUISITION	No information related to product customization to be collected	Options and parameters describing product/ service attributes have to be collected			New options and / or parameters describing product/service have to be defined
ORDER FULFILMENT	No customization-related activities	Need for identifying delivery, transportation, etc. Specifications related to each customer order	Need for identifying assembly cycles, pert list, etc. related to each customer order	Need for identifying fabrication specs, set-up, etc. related to each customer order	Ad-hoc design, fabrication, assembly, etc. activities
SCOPE OF PRODUCT CONFIGURATION					

Kuva 4. Tuoteräättälöintitasot ja tuotekonfigurointi (Forza, 2007.)

Tämän päivän tuoteräätälöintiin on muodostunut kaksi päälähestymisnäkökulmaa. Ensimmäinen lähestymisnäkökulma on massaräätälöinti. Rautenstrauch (2002) mukaan massaräätälöinnistä puhutaan, kun tuotteen hinta ei ylitä 10 – 15 prosenttia standardituotteen kustannuksista. Näkökulman mukaan tuotteen yksilöinnin lisäksi tuotteen hinta on myös tärkeä prosessin osatekijä. Massaräätälöinnin strategisena näkökulmana voidaan pitää tuotteiden erilaistamista räätälöinnin avulla kuitenkin hyödyntäen massatuotannon tuomaa etua tuotteen kustannuksiin (EOS, Economies of Scale) (Blecker & Friedrich, 2007). Toisessa tuotteen räätälöinnin lähestymisnäkökulmassa tuotetaan tarkasti asiakkaan vaatimuksia vastaamaan suunniteltuja tuotteita työpajapohjaisella tuotannolla. Tämä lähestyminen vaatii projektihallinnallista ohjausta (Caron & Fiero, 1995).

#### 4.4 Massaräätälöinti

Massaräätälöinti on tuotantomalli, joka on kehitetty standardoidusti muunneltujen tuotteiden valmistamiseksi (Minzberg, 1988). Massaräätälöinnin eduista parhaimman hyödyn saavat aikaisemmin massatuotannon saralla olleet yritykset. Malli ei tarjoa suoria suosituksia ja menetelmiä täysin tai merkittävästi muunneltujen tuotteiden tuottamiseen. (Hendry, 1998.)

Massaräätälöinnin onnistumista voidaan arvioida eri tekijöiden kautta. Da Silveira et al. (2001) nimeää kuusi tekijää, joita hyödyntämällä on mahdollista saavuttaa menestyksellinen massaräätälöinti:

- markkinoiden kysyntä tuotevariaatioita ja räätälöintiä kohtaan,
- markkinaolojen sopivuus,
- toimitusketjun valmius,
- tekniikan saatavuus,
- tuotteiden räätälöintimahdollisuudet ja
- tiedonjako.

Zipkinin (2001) mukaan kolme massaräätälöinnin avainosaamista ovat: mekanismi asiakastarpeiden määrittämiseksi ja säilyttämiseksi (*elicitation*), joustava tuotantotekniikka, jolla on mahdollista tuottaa asiakkaan haluamia tuotteita (*process flexibility*) sekä aliprosessit ja jakelu, joilla säilytetään tuotteiden yksilöllisyys ja yhteys oikeaan asiakkaaseen (*logistics*). (Blecker & Friedrich, 2007.)

Tuotteiden kokonaisläpimenoaika on massaräätälöinnin saralla merkittävä kilpailutekijä. Kokoonpanon läpimenoaika on mahdollista saada lyhyeksi, mikäli tuoterakenne on kunnossa. Läpimenoaikojen parantamiseksi voidaan prosesseja optimoida ja ennustettavuutta parantaa. Samoin järjestelmän kapasiteettiin pitää jättää löysää ja suositeltavaa olisi, että kuormitusaste olisi mielellään alle 80 prosenttia. (Sievänen, 2008.)

Durayn (2000) mukaan modulaarisuuden käsite on peruskomponentti joustavaksi määritellyssä tuotannossa. Modulaarisuusaste ei pelkästään mahdollista tuotannon joustavuutta vaan myös tuotteen räätälöinnin ulottuvuuksia.

Vastaavasti Mchunu (2003) mainitsee viisi pätevyysedellytystä menestyksellisen massaräätälöinnin saavuttamiseksi:

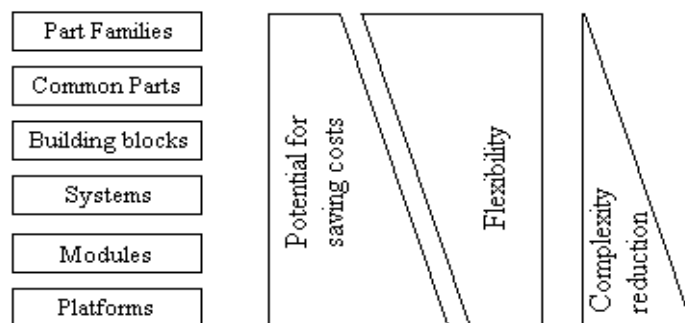
- asiakkaan etujen mukainen suunnittelu,
- strateginen ja toiminnallinen joustavuus,
- toimitusketjun ketteryys,
- jakelun järjestäminen materiaalin määrän ja sijainnin perusteella läpi yrityksen toimitilojen sekä
- logistiikan ja informaation hallinta.

Tehokkaassa massaräätälöinnissä tärkeä tekijä on rajoitettu tuotevariaatio. Tuotevariaation ja kompleksisuuden hallitsemiseksi on olemassa nippu strategioita, joilla voidaan vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen annetuissa olosuhteissa.

#### 4.4.1 Kompleksisuuden vähentäminen massaräätelöintiympäristössä

Wildemannin (1995) empiiriset tutkimukset osoittivat, että tuotevariaation tuplaaminen aiheuttaa 20 – 35 prosenttia lisäkustannuksia yrityksissä, jotka perustuvat perinteisiin tuotantojärjestelmiin. Segmentoituneille ja joustaville tehtaille yksikkökustannusten lisäys olisi noin 10 – 15 prosenttia. Tämä osoittaa, että tehokkuus ei riipu pelkästään tuotevariaatiosta, vaan myös tuotannon virtauksesta järjestelmässä. (Blecker & Abdelkafi, 2006.)

Wildemann (2003) nimeää kuusi eri strategiaa tuotevalikoiman tehokkaaksi hallitsemiseksi: osaperheet, yhteiset osat, rakennuslohkot, järjestelmät, moduulit ja tuotealustat (Kuva 5). Näistä strategioista osaperheet vähentävät kompleksisuutta vähiten ja tuotealustat eniten. Tuotealustojen kautta on mahdollista saada myös suurimmat säästöt. Kuvan 5 mukaiset kolme päälohkoa esittävät strategioiden vaikutusta potentiaalisiiin säästöihin, joustavuuteen ja monimutkaisuuden vähentämiseen.



Kuva 5. Strategiat kompleksisuuden vähentämiseksi (Wildemann, 2003)

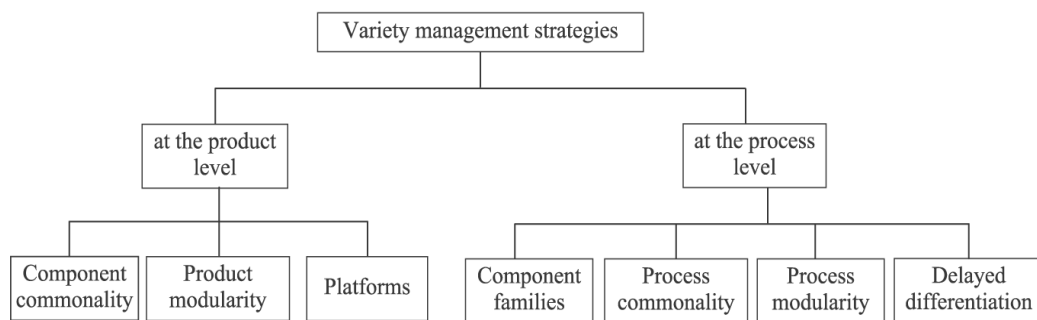
Vastaavasti Blecker ja Abdelkafi (2006) tekivät tutkimuksia massaräätelöinnin saralla arvioiden ATO-kokoonpanojärjestelmän monimutkaisuutta. Johtopäätöksenä he huomasivat, että on mahdollista vähentää variaatioiden tuomaa kompleksisuutta, jos hyödynnetään tuotevariaatioiden hallintastrategioita (Kuva 6). Strategiat, joita voidaan käyttää variaation hallitsemiseksi tuotteen tasolla, ovat:

- komponenttien yleiskäyttöisyys,
- tuotteen modulaarisuus ja
- tuotealustat.

Prosesseissa Bleckerin ja Abdelkafin (2006) mukaan sen sijaan voidaan hyödyntää:

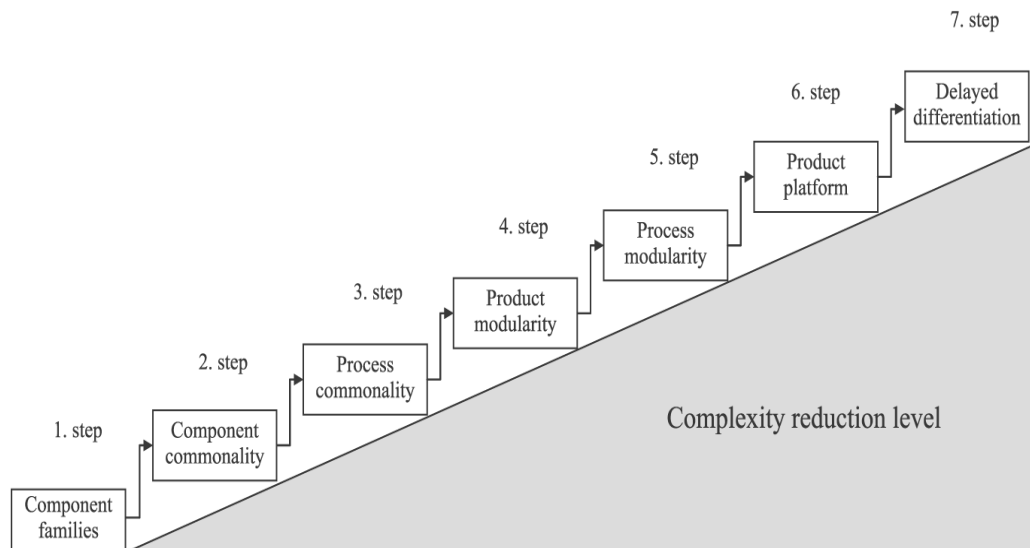
- tuoteperheitä,
- prosessien modulaarisuutta,
- prosessien yleiskäyttöisyyttä ja
- viivästettyä erilaistamista.

Teollisuuden toimialasta riippuen viivästetty erilaistaminen voidaan saavuttaa tuotannon alkumetreillä komponenttien yleiskäyttöisyyden hyödyntämisellä (Blecker & Abdelkafi, 2006).



**Kuva 6. Variaatioiden hallinta strategioita (Blecker & Abdelkafi, 2006)**

Prosessien uudelleensuunnittelulla ja käänteistämisellä on mahdollista myöhäistää erilaistumispistettä (Lee & Tang, 1997). Lisäksi tuotannon viivästyttämisessä voidaan käyttää esikasattuja komponenttikokonaisuuksia (*vanilla boxes*, Swaminathan and Tayur, 1998). Viimeiseksi mainittu menetelmä ei aiheuta muutoksia tuotteen tai prosessien suunnitelmiin.



Kuva 7. Monimutkaisuuden vähentäminen (Blecker and Abdelkafi, 2006)

Kompleksisuuden vähentämiseksi tehokkaimpia menetelmiä ovat tuotteen modulaarisuus, tuotealustat, prosessin modulaarisuus ja viivästetty erilaistaminen (Kuva 7) (Blecker & Abdelkafi, 2006).

#### 4.4.2 Asiakslähtöisen tuotannon kehittäminen massaräätelöinnin mukaan

Massaräätelöinnissä tuotannon kehittämisen lähtökohtana tulee olla **joustavuus ja ennen kaikkea läpimenoaika**. Malli tukee tiukkaan rajoitettuja tuotevariaatioita, minkä mukaan kaikki tuotannon prosessit ovat suunniteltu. Tehokas massaräätelöinti vaatii tuotevariaation hallintastrategioita hyödyntämistä.

Massaräätelöintimallin mukaisissa **prosesseissa tulisi pyrkiä yleiskäyttöisyyteen**, jolloin prosessit takaisivat tuotannon joustavuuden. Prosesseilta vaaditaan **modulaarisuutta**, mikä tekee kokonaisprosessista joustavamman. Tuotteiden **variointia pyritään viivästämään** mahdollisimman pitkälle, jolloin toistettavuutta voidaan hyödyntää prosessissa mahdollisimman pitkälle ja läpimenoaikoja saadaan lyhyemmiksi. Kunnossa oleva tuoterakenne on edellytys kitkattomalle tuotannolle. (Sievänen, 2008.)

#### 4.5 Projektihallinnollinen tuoteräätelöinti

Sen sijaan, että asiakkaat olisivat mahdollista tyydyttää suoraan lopputuotevarastosta, tilausperusteiseen suunnitteluun pohjautuva yritys (ETO-yritys) suunnittelee, tuottaa, asentaa ja ottaa käyttöön asiakasvaatimusten mukaan erikoistuneita monimutkaisia järjestelmiä (Caron & Fiero, 1995).



ETO-yrityksen ominaisluonteeseen kuuluu, että tuotteiden suunnittelu aloitetaan tilauksen saapumisen jälkeen, ja tuotteiden valmistusprosessit ovat ajallisesti rajattuja. Useimmiten ETO-yrityksen tuotteet ovat fyysisiä tuotteita, joita on räätälöity. Tuotteiden kokonaismäärät pysyvät ETO-yrityksissä yleensä hyvin matalalla. Esimerkiksi laivanrakennusalan yritykset edustavat ETO-tuotantoa. (Blecker & Friedrich, 2007.)

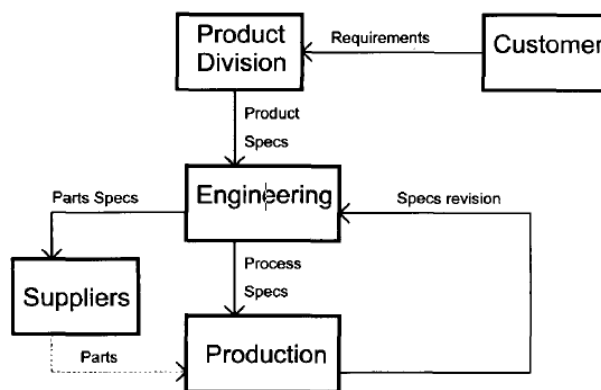
#### 4.5.1 Projektiohjautuvan tuoteräätälöinnin haasteet

Suuret erot asiakastilauksien välillä ETO-yrityksissä vaativat intensiivisempää informaationvirtausta kuin ETO-strategiasta poikkeavilla yrityksillä. Jokaisen asiakastilauksen tuloksena syntyy yksilöllinen osaluettelo, tuoterakenne (BOM, Bill of Materials) sekä tuotannonvaiheet. (Blecker & Friedrich, 2007.)

Keskityttäessä analysoimaan projektien suorituskkyä korkean teknologian sektorilla seuraavat väittämät ovat totta useimmissa tapauksissa (Caron et al., 1995):

- Projekteja päätettäessä yritykset eivät onnistu noudattamaan asiakkaan kanssa sovittuja aikatauluja, aiheuttaen budjettien ylittymisiä.
- Erityisesti pitkiä viiveitä ja uudelleentekemistä aiheutuu tuotteen kehityssasteella.

Tämä osoittaa, että noidankehä voi syntyä eri valmistumistasojen välille, kun ne viedään läpi sekvenssimäisesti, ja tasojen suorituskky osoittautuu puutteelliseksi.



Kuva 8. ETO-informaatiovirrat (Caron & Fiero, 1995)

#### 4.5.2 Projektiohjautuvan tuotannon suunnittelu

Projektihallinnassa joudutaan tekemään yksityiskohtainen analyttinen suunnitelma ennen kuin projektin työstäminen voidaan aloittaa. Tyypillisessä projektihallinnallisessa johtamisessa sopimuksen laatimisen jälkeen luodaan ensin pilkottu työn rakenne (WBS, Work Breakdown Structure). Kuten kaikki mekaaniset ja elektroniset laitteistot, tuote tulisi pilkkoa käyttäen modulaarista lähestymistä esimerkiksi erottelemalla kaikki toiminnallisesti täydelliset alijärjestelmät, jotka

voidaan testata itsenäisinä. Alijärjestelmät voidaan edelleen erotella seuraavasti standardeihin ja niistä poikkeaviin työpaketteihin. (Caron & Fiero, 1995.)

### **Standardit alijärjestelmän työpaketit**

Standardien työpakettien yhteydessä tuoterakenne (BOM) ohjaa tuotantoa. Toistuvia tuotannon työpaketteja voidaan tehokkaasti suunnitella ja ohjata tavanomaisilla tuotannon suunnittelu- ja ohjaustekniikoilla, kuten MRP-pohjaisilla ratkaisuilla. Valmistusvaiheista on tiedossa läpimenoajat ja tuoterakenne jokaiselle tuotteen osalle. (Caron & Fiero, 1995.)

Standardeissa alijärjestelmissä tuotteet voidaan purkaa perustuen toiminnallisiin ja teknologisiin menetelmiin välittömästi, kun WBS on määritelty ja jaettu tuotannon työpaketteihin (WP, Work Package). Materiaalivirtojen hallitsemiseksi voidaan hyödyntää tuotteen osien standardointia sekä osasarjojen hyödyntämistä tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. (Caron & Fiero, 1995.)

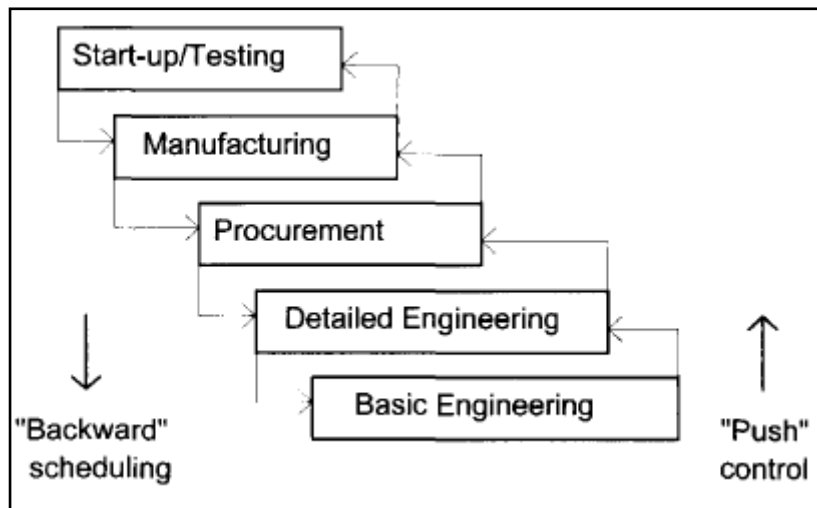
### **Standardista poikkeavat työpaketit**

Poikkeavien työpakettien tapauksissa alijärjestelmän tuoterakenteesta (BOM) tulee projektin ulostulo, myös tapauksissa, jotka nähdään jo aikaisemmin läpivietyjen tuotteiden kehittämisenä. Tämän vuoksi tuotannon työpaketteja ei voida hallita perinteisillä yleisesti tuotannon käytössä olevilla aikataulutustekniikoilla. Näin ollen kehitystyöpakettien (WP) hallinta ei vaadi pelkästään määrättyä lähestymistä ja osoitettuja resursseja vaan yhtä lailla myös erikoiskoordinointia. Näin on mahdollista varmistaa merkkipaalujen saavuttaminen ajallaan ja aikataulun noudattaminen kokonaisprojektin edetessä. (Caron & Fiero, 1995.)

Standardittomissa alijärjestelmissä tulee omaksua käyttöön rinnakkainen kehitys ja perustaa tehtäväyksiköitä eli niin sanottuja tuotesuunnitteluryhmiä. Ryhmien on mahdollista parantaa kaksisuuntaista tiedonvaihtoa toimintayksiköiden välillä tuotesuunnittelu- ja kehitysvaiheessa. (Caron & Fiero, 1995.)

Kun projektin pilkottu rakenne (WBS) on saatu valmiiksi, projektijohdollinen lähestyminen vaatii kokonaisvaltaisen pääsuunnitelman luomisen. Suunnitelma määrittelee aikataulutuksen työpaketeille, ja samalla huomioi tehtävien välisen tärkeysjärjestyksen. Sopiva lähestymismenetelmä pääsuunnitelman määrittämiseksi projektipohjaisessa ohjauksessa on takautuva aikataulutus (Kuva 9). (Caron & Fiero, 1995.)

Koko projektin puitteissa täytyy omistaa erikoishuomiota kriittisille osille, joiden hankkimiseksi läpimenoajat ovat erityisen pitkiä, ja joiden hankintapolitiikat pitää määritellä heti projektin alussa (Caron & Fiero, 1995).



Kuva 9. Takautuva aikataulutus ja työntöohjaus (Caron & Fiero, 1995)

Projektiohjautuvassa tuoteräätälöinnissä menestyksekkään toiminnan kannalta tärkeimmiksi osa-alueiksi nousevat projektihallinnalliset tehtävät ja tuotannon logistiikat (Caron & Fiero, 1995).

#### 4.5.3 Tuotannon kehittäminen ETO-mallin mukaan

Caron & Fiero (1995) näkevät menestyksekkään ETO-tuotannon tärkeimmiksi kehityskohteiksi projektihallinnolliset tehtävät ja tuotannon logistiikan.

##### Projektihallinnolliset tehtävät menestyksekkäässä ETO-tuotannossa

Tuotteen tulee koostua **modulaarisesta rakenteesta**, joka määrittelee standardit ja standardittomat alijärjestelmät. Työn **rakenteen tulee olla tuotantosuuntautunut** sekä perustua tuotannon työpaketteihin ja kehitystyöpaketteihin. Projektin kokonaisvaltainen **pääsuunnitelma perustuu takautuvaan aikataulutukseen ja työntöohjaukseen** huomioiden sekä tuotanto- että kehitystyöpaketit (WP). Tuote **suunnitellaan rinnakkaisesti** useampia kehitysryhmiä hyödyntäen. Hallinnon tulee keskittää huomionsa tuotannon ja kehitystyön työpakettien rajapintoihin. (Caron & Fiero, 1995.)

**Osallistumisperusteisen organisaatiomallin omaksumista** on pidetty menestyksen avaintekijänä japanilaisissa yrityksissä sekä projektihallinnollisena innovaatioiden hallintana että tuotannon JIT-filosofian tukijana (Caron & Fiero, 1995).

Blackburn (1991) osoitti, että projektihallinnallisen ja JIT-tuotantomallin välillä on olemassa yhteys, joka pyrkii sekä keskittymään vastavuoroisiin organisaation vuorovaikutussuhteisiin että edistämään poikkeamien hallintaa paikallisella tasolla.

### Tuotannon logistiikan menestykseks kehittäminen ETO-tuotannossa

Menestykseks tuotannon logistiikka vaatii **tuotteen moduulisointia ja osien standardointia**. Tuotantoprosessi tulisi vastaavasti pyrkiä modularisoimaan järjestämällä **itsenäisiä kokoonpano- tai teknologiasuuntautuneita tuotanto-osastoja**. Tuoterakenteen rikkomista tulisi suunnitella kokoonpanoon tai teknologiaan perustuviin sarjoihin ja identifioida läpimenoajat. (Caron & Fiero, 1995.)

## 5 Kokoonpanotuotannon organisointi

Kokoonpanotuotannon periaatteet ja strategiat voidaan luokitella seuraavalla tavalla (esimerkiksi Heilala & Voho, 2001):

- jaksottainen manuaalinen kokoonpanolinja
- rinnakkainen manuaalinen kokoonpanolinja
- puoliautomaattinen kokoonpanolinja
- joustava automaattinen kokoonpanolinja
- erikoistunut automaattinen kokoonpanolinja

**Jaksottaisessa manuaalisessa kokoonpanolinjassa** kokoonpanoprosessi on jaettu pienempiin osaprosesseihin. Tällainen on hyvä ratkaisu matalakustanteisen työvoiman maissa, joissa tuotanto on vasta alkanut tai työvoimankierto on hyvin suuri. Lyhyt kierto on helppo oppia, ja operaattoreiden taitotaso voi olla matala. Tätä kutsutaan myös asteittaisen kasaamisen (*progressive build*) periaatteeksi. Periaate tukee hyvin automatisointia, koska tehtävät ovat yksinkertaisia. (Heilala & Voho, 2001.)

**Rinnakkaisella manuaalisella kokoonpanolinjalla** kokoamisprosessi viimeistellään manuaalisesti yhdessä paikassa yhden operaattorin tai solun tehdessä kaikki kokoonpanon vaiheet. Kokoonpanoratkaisu soveltuu suhteellisen korkeakustanteisen työvoiman maihin tai kehittyneisiin tehtaisiin. Ratkaisulla voidaan tuottaa pieniä eräkokoja suurta joustavuutta vaadittaessa. Painopiste on työmenetelmien suunnittelussa ja työergonomiassa. Työ sisältää useampia tehtäviä sekä vaatii korkeaa taitotasoa ja monitaitoisia työntekijöitä. Tätä kutsutaan myös kokonaisvaltaisen kasaamisen (*complete build*) -periaatteeksi. Operaattorit ovat vastuullisia kokoamastaan tuotteesta, mikä lisää heidän motivaatiotansa ja työtyytyväisyytensä sekä lopputuotteen laatua. Kapasiteetin joustavuudelle on mahdollisuuksia: osa pisteistä voi olla reservissä miehittämättöminä ja käytössä vain, mikäli suuremmalle kapasiteetille on tarvetta. Osaamisen ja kykenevyyden jousto syntyy operaattoreiden taidoista, tiedosta ja oikeista työkaluista. (Heilala & Voho, 2001.)

**Puoliautomaattisissa kokoonpanolinjastoissa** osa prosessia on automatisoitu. Tällaisessa linjakonseptissa kaikkein aikaavievimmät, laadullisesti kriittiset tai ergonomisesti huonot työvaiheet automatisoidaan, esimerkiksi testaus ja ruuvaus. Manuaalista ja automatisoitua työtä saman järjestelmän sisällä voi yhdistää palettikuljetusjärjestelmä, liukuhihna tai joku muu työkappaleen kuljettaja. (Heilala & Voho, 2001.)

**Joustavassa kokoonpanolinjastossa** kokoonpanoprosessi on automatisoitu. Rakenne soveltuu korkeakustanteisen työvoiman maihin, joissa tuotetaan suuren volyymin voimin ja suhteellisen suurissa erissä (Heilala & Voho, 2001).

**Erikoistuneet automaattiset kokoonpanolinjastot** on suunniteltu määrätyn tuotteen hyvin suurien määrien tuottamiseksi. Erikoistuneet linjastot soveltuvat hyvin massatuotannon käyttöön. (Heilala & Voho, 2001)

## 5.1 Kokoonpanoryhmien muodostaminen loppukokoonpanossa

Tuotantoryhmien muodostamista käsittelevää kirjallisuutta löytyy paljon, mutta vain vähän on tulkattu sitä, kuinka useita rinnakkaisia tiimejä tulisi käyttää kokoonpanossa tekemisen tehostamiseksi (Dunphy and Bryant, 1996). McCreery et al. (2004) perehtyivät tutkimaan ongelmaa analyttisesti vertailemalla rinnakkaisten tiimien tehokkuuksia työtehtävien monimutkaisuuden ja tuotevariaatioiden lukumäärän muuttuessa. Lisäksi he tarkastelivat, mikä vaikutus ristiinkoulutuksella on toiminnan tehokkuuteen.

Merkittävänä etuna useassa rinnakkaisessa tiimissä on, että yhden tiimin muodostaessa pullonkaulan toisten tiimien toiminta ei hidastu. Näin toiset työpisteet eivät joudu kärsimään yhden työpisteen työnteon estymisestä ja materiaalipuutteista. Usean tiimin haasteena on kuitenkin erityisesti korkean variaatiotason tuotannossa vaade haalita useita eri tehtäviä työn suorittamiseksi. Tehtävien ollessa monimutkaisia tosiasia on, että useiden erityyppisten tehtävien suorittaminen voi näkyä työntekijän heikompana tehokkuutena. Tästä puolestaan seuraa koko järjestelmänlaajuisen suoritustason heikentyminen. (McCreery et al., 2004.)

Usean tiimin järjestelmissä työntekijöillä usein kestää muissa tiimirakenteissa työskenteleviä kauemmin saavuttaa oppimiskäyrän mukainen tehokkuuden kehittyminen. Lisäksi oppimisprosessissa edistyttyäessä opittujen taitojen ylläpidosta tulee hankalaa, koska työntekijöiden tehtävien kirjo on suuri. Hyvin todennäköistä on vielä, että samaa tuotetta kohden kertyy usein pidempiä taukoja tehtävien välillä, koska tilaukset on kohdennettu useille eri tiimeille. (McCreery et al., 2004.)

Keskeneräisen työn varasto (WIP, Work In Process) pyrkii kasvamaan keskimäärin 80 – 90 prosenttia aina yhtä lisättyä tiimiä kohden. *Job shop* -ympäristössä, jossa on useita pisteitä, keskeneräisen varaston arvo on kohtuullisen suuri. Tämä voi olla näkökulma, jota joudutaan miettimään tehtäessä valintaa usean työpisteen kohdalla. (McCreery et al., 2004.)

### Korkea variaatiotaso ja yksinkertaiset tehtävät

Korkean variaatiotason ja yksinkertaisten tehtävien vallitessa tuotannossa kannattaisi tutkimusten mukaan hyödyntää useita rinnakkaisia työpisteitä. Korkea variaatiotaso ei sotke tai kykene estämään useiden rinnakkaisten työpisteiden materiaalien jatkuvaa virtausta. Toisaalta työtehtävien yksinkertaisuuden takia ne on helppo oppia ja niiden unohtaminen on epätodennäköisempää. (McCreery et al., 2004.)

Korkea variaatiotaso pyrkii tekemään kuorman jakautumisesta epätasaista työpisteiden välillä, mikä vuorostaan aiheuttaa hetkellisesti työpisteillä työn estymisen ja materiaalikatkoksia virtauksessa (McCreery et al., 2004).

### **Matala variaatiotaso ja monimutkaiset tehtävät**

Vastaavasti taas ympäristössä, jossa variaatiotaso on matala, mutta tehtävät ovat monimutkaisia, pitäisi hyödyntää tehtäviin erikoistumista, ja pidättäytyä vain muutamassa tiimissä. Työpisteiden rinnakkaistamisella on tehokkuutta vähentävä vaikutus, kun oppiminen ja unohtaminen alkaa vaikuttaa toimintoihin. (McCreery et al., 2004.)

Kun vaadittavat tehtävät ovat hankalia oppia ja helppoja unohtaa, on parempi pitää työntekijät keskittyneinä yksittäisiin ja heille ominaisimpiin tehtäviin aina, kun se on mahdollista (McCreery et al., 2004).

### **Korkea variaatiotaso ja monimutkaiset tehtävät**

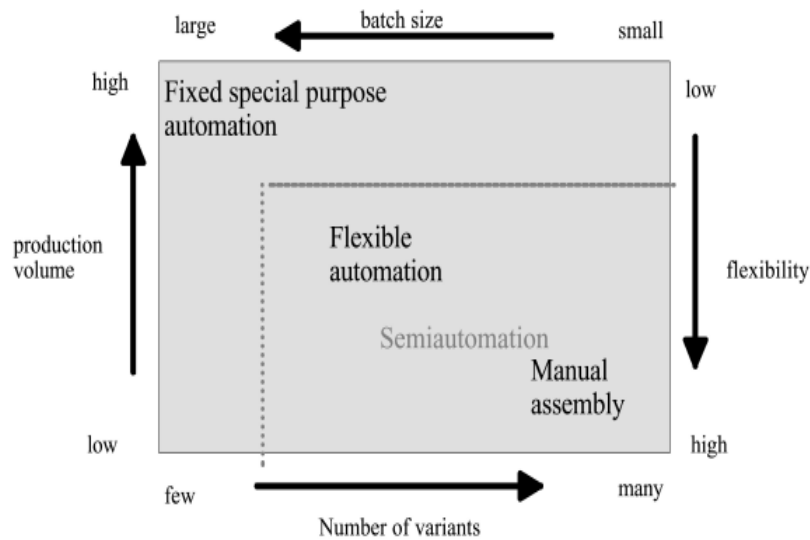
Tutkimusten perusteella korkean variaatiotason ja hankalien tehtävien työympäristö on vaativin tutkimuskohde ja suunniteltava, koska korkean variaation kompensoimisella ja monimutkaisten tehtävien huomioimisella on käänteinen vaikutus toisiinsa nähden. (McCreery et al., 2004.)

Kaiken kaikkiaan tällainen ympäristö vaatii rajoitettua layout-politiikkaa ja maltillista työntekijöiden joustavuutta. Tällaisessa ympäristössä kannattaisi hyödyntää joko useita tiimejä ilman ristiinkoulutusta tai vähemmän tiimejä, joiden kanssa käytetään ristiinkoulutusta. (McCreery et al., 2004.)

## **5.2 Optimoitu moderni kokoonpanotuotanto**

Tämän päivän markkinoiden myllerryksessä optimoitu kokoonpanojärjestelmä on puoliautomaattinen modulaarisuuteen perustuva järjestelmä. Järjestelmässä hyödynnetään joustavien eritasoisesti automatisoitujen työpisteiden yhdistelmiä aina robottisoluista manuaalisiin työpisteisiin. Materiaalien käsittely on usein automatisoitu. Ihmisoperaattorien taitojen ja älykkyyden hyödyntäminen on etu samalla, kun tuotteiden elinkaaret ovat lyhentymässä. Solumainen järjestelmä, jossa kokoonpano suoritetaan askel askeleelta, tarjoaa tehokkaan ratkaisun järjestelmien kehittämiseksi korkean variaatiotason ja matalan volyymin dynaamisessa tuotantoympäristössä (Kuva 10). (Heilala & Voho, 2001.)

Figure 2 Assembly principle depends on many factors



Source: Modified from Rampersad (1994)

Kuva 10. Kokoonpanoprosessiin vaikuttavat tekijät (Heilala & Voho, 2001.)

### 5.3 Kokoonpanotuotannon kehittäminen nykypäivänä

Mikäli halutaan tuottaa kehittyneissä maissa tuotteita pienissä erissä tuotannon joustavuus säilyttäen, tulisi kokoonpanossa hyödyntää rinnakkaista kokoonpanoa ja täydellistä tuotteiden kokoamista. Rinnakkaiset työpisteet mahdollistavat tuotannon kapasiteetin joustavuuden. Täydellinen tuotteen kokoaminen taas motivoi työntekijöitä ja lisää työtyytyväisyyttä sekä parantaa lopputuotteen laatua. (Heilala & Voho, 2001.)

Monimutkaisilla tehtävillä ja korkealla variaatiotasolla, kuten Metson FC-tuotelinjalla, on käänteinen vaikutus toisiinsa nähden suunniteltaessa rinnakkaisten työpisteiden lukumäärää. Kuitenkin voidaan sanoa, että on kannattavaa hyödyntää joko useita erillisiä työpisteitä ilman ristiinkoulutusta tai vähemmän erillisiä työpisteitä ja keskittyneitä tiimejä, joiden kanssa hyödynnetään ristiinkoulutusta. (McCreery et al., 2004.)

Modernissa kokoonpanotuotannossa hyödynnetään moduulimaista rakennetta, automatisoitua materiaalin käsittelyä ja ihmisoperaattoreita joustavuuden takaamiseksi. Lisäksi solumainen tuotantomalli nähdään pienen volyymin ja korkean variaatiotason tuotannossa eduksi. (Heilala & Voho, 2001.)



## 6 Asiakslähtöisen tuotannon kehittämisen malli

Yleisesti hyväksyttäviä tuotantomallien menestystekijöitä on kerätty *World Class Manufacturing* (WCM) -käsitteen alle (Schonberger, 1986). Vastaavalla tavalla Hendry (1998) on keskittänyt tutkimuksensa erityisesti asiakslähtöisen tuotantomallin (MTO-yritysten) menestystekijöiden kartoittamiseen. Tutkimukset painottuivat vierailuihin menestyneissä yrityksissä sekä case-tutkimuksiin, joissa työskenneltiin MTO-yritysten kanssa. MTO-yrityksillä variaatiotaso on usein korkea, mutta määrällisesti jäädään kuitenkin pieniin tuotantomääriin.

Tutkimusten perusteella on löydetty erityisesti asiakslähtöistä tuotantoa koskevia hyviä toimintatapoja. Näistä Muda ja Hendry (2002) käyttävät nimikettä *Make to Order World Class Manufacturing* (MTO WCM) -periaatteet:

- tuotannon joustavuus,
- työvoiman tärkeys,
- jatkuva kehittäminen,
- tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen: visuaalisuuden parantaminen,
- informaatiovirtojen parantaminen,
- yksinkertaiset, joustavat, liikuteltavat ja matalakustanteiset laitteistot;
- läpimenoaikojen leikkaaminen, aikataulutusta ja työkuorman ohjaus;
- aloitus- ja asetusaikojen leikkaaminen sekä ennakoivat huoltotoimet,
- tuotesuunnittelun kehittäminen ja
- markkinoinnin ja tuotannon yhteistyö.

Tuotannon joustavuuden kehittäminen on yksi tärkeimmistä asiakslähtöisen tuotannon ominaisuuksista (Muda & Hendry, 2002). Tämänhetkinen markkinatilanne tukee myös tuotannon joustavuuteen pyrkimistä, kun tuotteiden elinkaaret ovat lyhentymään päin (Heilala & Voho, 2001). Samoin joustavuus on mainittu massaräätälöinnin kehittämisen päätavoitteina (Sievänen, 2008).

### 6.1 Asiakslähtöisen tuotannon tavoitteena joustavuus

Joustavuus voidaan jakaa suorituskyvyn joustavuuteen ja kapasiteetin joustavuuteen (Tichem, 2000). Suorituskyvyn joustavuus viittaa systeemin kykyyn reagoida markkinoiden tuotevariaatioiden muuttuvaan kysyntään (Heilala & Voho, 2001).

Suorituskyvyn joustavuuteen voidaan vaikuttaa merkittävästi lean- ja agile-mallin tavoin työntekijöiden monitaitoisuutta kehittämällä. Ihminen tulee aina olemaan joustavampi kuin robotti (Kosonen ja Buharist, 1995). Heilala & Voho (2001) korostavat ihmisen taitojen ja älykkyyden tuomaa etua järjestelmän joustavuudessa. Tuotantomallit painottavat lisäksi tuotannon solumaista rakennetta joustavuuden lisäämiseksi. Massaräätälöinnin yhteydessä korostetaan erityisesti tuotannon moduulimaisuutta ja yleiskäyttöisyyttä joustavan tuotannon toteuttamiseksi. Lisäksi

tuotannon suorituskyvyn joustavuutta tukee älykäs teknologia ja työkalujen sekä laitteistojen yleiskäyttöisyys. Tuotesuunnittelun kehittäminen vaikuttaa merkittävästi koko tuotantoprosessin joustavuuteen.

Kapasiteettijouaston luomiseksi yrityksellä on useampia vaihtoehtoja. Tuotannon ominaisuudet kuitenkin lopulta määräävät, mitä joustoa on edullisinta hyödyntää. Jackin (2002) saamien tulosten perusteella lyhyen aikavälin joustot saavutetaan ylityön, varastopuskureiden ja kapasiteettipuskureiden avulla. Tutkimusten perusteella ylityöt ja ristiinkoulutus ovat kaksi kaikkein yleisintä keinoa joustavuuden luomiseksi lyhyellä aikavälillä.

Useat johtajat ja tutkijat ovat todenneet sopivien joustavuuden mittausmenetelmien puutteen. Samoin tarvetta olisi ymmärtää paremmin erityyppisten joustavuuksien riippuvuussuhteita. (Koste et al., 2004.)

## 6.2 Asiakslähtöisen tuotannon hyvät toimintatavat

Vastaavia toimintatapoja kuin Mudan ja Hendryn (2002) tutkimuksissa tukevat myös modernit asiakslähtöiset tuotantomallit: lean ja agile. Asiakslähtöisten tuotantomallien painotuksia ovat:

- jatkuva kehittäminen,
- työvoiman osaaminen, sitoutuneisuus, motivaatio;
- tuotannon joustavuus: työntekijöiden monitaitoisuus, solutuotanto, tiimit;
- tuotesuunnittelun kehittäminen: moduulimaisuus, tuotantosuuntautuneisuus;
- asetusaikojen ja läpimenoaikojen leikkaaminen;
- tuotannon visualisoinnin parantaminen ja
- tiiviit suhteet alihankintaverkostoon.

Tuorein agile-malli painotti lisäksi tuotannon kehittämisessä informaatiovirtojen hallintaa ja viimeisimpien teknologioiden hyödyntämistä.

Laatuaatteissa TQM painotti **jatkuvaa kehittämistä** tuotantomallien tapaan työnormeihin, työntekijöiden oma-aloitteisuuteen ja vastuunkantamiseen pohjautuen.

Kevyeen räätälöintiin (ATO-prosessit) erikoistunut massaräätälöinti nojaa paljon **tuotesuunnitteluun** prosessien tehokkuuden takaamiseksi. Tuotteiden suunnittelussa pyritään hyödyntämään muun muassa moduuleita ja tuotealustoihin pohjautuvaa rakennetta. Tuotannon prosesseilta vaaditaan **joustavuutta**, joka on mahdollista saavuttaa tuotannon moduulimaisen ja yleiskäyttöisen rakenteen avulla.

**Läpimenoaikojen lyhyys** on tärkeä kilpailutekijä, ja siihen pyritään prosessien uudelleensuunnittelun sekä tuotannon variaationhallintastrategioiden kautta.

Raskas räätälöinti (ETO-prosessit) eli projektiohjautuva tuotanto pohjaa periaatteissaan projektihallinnolliseen ja logistiseen osaamiseen. Tärkeänä painopisteenä on massaräätälöinnin tapaan **tuotesuunnittelu**. Tämän lisäksi **tuotannon tulisi olla myös moduulimainen**, ja siinä tulisi olla itsenäisiä tai teknologiapainottuneita osastoja.

Mudan ja Henryn (2002) havaitsemat hyvät toimintatavat ja kehityksen kohteet asiakaslähtöisessä tuotannossa vaikuttavat hyvin päteviltä ja valideilta, koska vastaavia periaatteita ja kehityssuuntauksia on havaittavissa moderneissa asiakaslähtöisissä tuotantomalleissa sekä laatufilosofioissa.

Työssä ei ole mahdollista pureutua kaikkiin havaittuihin hyviin toimintatapoihin, vaan tarkoitus on keskittyä niihin, joihin tuotannon on suoraan itse mahdollista vaikuttaa. Tällöin Mudan ja Henryn (2002) listasta karsiutuvat pois tuotesuunnittelun kehittäminen, markkinoinnin sekä tuotannon yhteistoiminnan kehittäminen ja tuotantomallien painottaman yhteistyön tiivistäminen alihankkijoiden kanssa.

Tärkeiksi asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiskohteiksi, joihin kokoonpanoyksiköllä on mahdollista suoraan vaikuttaa, valikoituivat seuraavat:

- **jatkuva kehittäminen,**
- **työvoiman arvostaminen:** motivaation ja osaamisen tärkeys,
- **tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen:** visuaalisuuden parantaminen,
- **informaatiovirtojen parantaminen,**
- **laitteistojen kehittäminen ja hankkiminen:** yksinkertaiset, joustavat, liikuteltavat ja matalakustanteiset laitteistot,
- **läpimenoaikojen leikkaaminen, aikatauluttaminen ja työkuorman ohjaaminen sekä**
- **aloitus- ja asetusajkojen leikkaaminen sekä huoltotoimien ennakointi.**

Näistä viisi viimeistä kuvaavat tuotannon operaatioiden ja kapasiteetin kehittämistä (Muda ja Hendry, 2002).

## 6.3 Menetelmät asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiseksi

Kirjallisuuden pohjalta on mahdollista löytää erilaisia menetelmiä, kuinka edellä mainittuja hyviksi havaittuja toimintatapoja voidaan todellisuudessa toteuttaa ja viedä eteenpäin tuotannossa.

### 6.3.1 Jatkuva kehittäminen

Jatkuva kehittäminen on muun muassa Toyotan tuotannon yksi tärkeimmistä tukipilareista. Vastaavasti jatkuva kehittäminen on nähtävissä osana moderneja tuotantotaatteita kuten lean ja agile (Stevenson, 2007). Jatkuva kehittäminen takaa prosessien sopeutumisen muutoksiin ja ongelmatilanteiden ratkaisemisen. Laadunhallinnan kannalta jatkuva kehitys on myös yksi tärkeimpiä toimintoja. Yksi TQM:n ydinajatuksista on jatkuva kehittäminen. (Stevenson, 2007.)

Jatkuva kehitys vaatii suorituskykymittauksien toteuttamista ja järjestelmien vertailua. Järjestelmän tulisi kyetä tunnistamaan heikosti suorituvia osa-alueita, jotta parannuksia osattaisiin etsiä. Tämä voi sisältää jo tapahtuneiden muutosten

jatkamista tai perinteisten vahvuuksien edelleen vahvistamista, kuten ammattitaitoisen työvoiman joustavuutta. (Hendry, 1998.)

Laadun parantaminen ja sopivien suorituskykymittauksien toteuttaminen on tärkeä osa jatkuvaa kehittymistä. Laatuperiaatteita tulisi harjoittaa ilman niiden erikseen korostamista. Yleiset asiakastarpeet tulisi ymmärtää: laatu, nopeus, joustavuus ja arvon luominen (QSFV, Quality-Speed-Flexibility-Value). Näitä QSFV-ominaisuuksia tulisi käyttää määräävinä mittareina avaintoiminnoissa. Kaikkia toissijaisia mittareita esimerkiksi työvoiman tuottavuutta tai varianssia ei enää tarvitse ylläpitää. Kaikissa prosesseissa tulee ylläpitää kulttuuria, joka tukee jatkuvaa kehittymistä. (Muda & Hendry, 2002.)

MTO-yrityksellä on merkittävästi vähemmän mahdollisuuksia oppia virheistään jatkuvan kehityksen myötä, koska uusia ongelmia syntyy jatkuvasti uusien ja ainutlaatuisten tuotteiden luomisen yhteydessä. Kuitenkin muutokset asenteissa laatuun ja vastuunkantamiseen oman työn tarkastelemisessa voivat lisätä yrityksen suorituskykyä. Lisäksi vähennykset keskeneräisen työn varastoissa voivat johtaa vähäisempiin tapaturmiin, joiden seurauksena hyvä tuote saattaa vaurioitua ennen kuin se on valmistettu tai kuljetettu loppukokoonpanoon. (Hendry, 1998.)

Pohjan jatkuvalle kehittämiselle luo työntekijöiden osallistuminen ja aloitteellisuus, jotka ovat muun muassa lean-tuotannon tärkeitä pyrkimyksiä. Jatkuvan kehittämisen toteuttamiseksi on kehitetty työkaluja kuten 5S:n periaatteet ja Demingin laatuympyrä. Työkalujen tarkoituksena on paikantaa prosessin heikkoja kohtia ja kehittää parannuksia näihin pullonkauloihin tai matalikkoihin. Tarkoituksena on, että jo ratkaistun ongelman kanssa ei tarvitse enää painia. (Stevenson, 2007; Aoki, 2008)

Lean-tuotannossa prosesseilta vaaditaan systemaattisuutta, jotta tuotannon heikot kohdat on helpompi havaita (Imai, 1986). Työntekijöiden kurinalaisella toiminnalla työnormien tai 5S:n mukaan on kriittinen rooli jatkuvassa kehittämisessä (Aoki, 2008).

## 5S, työkalu jatkuvaan kehittämiseen

*Seiri, seiton, seiso, seiketsu* ja *shitsuke* ovat viisi japanilaista sanaa, joita tunnetummin kutsutaan 5S:n periaatteeksi. 5S:n kannattajien mukaan periaate lähestyy askel askeleelta kokonaisvaltaista laatukeskeistä ympäristöä (Sui-Pheng et al., 2001). 5S on yksi jatkuvan kehittämisen työkaluista. Ho (1997) tarjoaa käännöksen japanilaisille sanoille ja selityksen 5S:lle seuraavasti (Kuva 11):

- *Seiri* tarkoittaa organisaatiota, joka osaa erottaa tarpeelliset asiat muista sekä pitää muiden tarpeettomien asioiden lukumäärän mahdollisimman alhaisena ja sopivassa paikassa.
- *Seiton* tarkoittaa huolellisuutta/järjestystä, yhtä tehokkuuden osa-alueista. Kysymys kuuluu, kuinka nopeasti tarvittavat asiat ovat saatavilla ja kuinka nopeasti ne voi laittaa pois.
- *Seiso* tarkoittaa siisteyttä, jota vaaditaan kaikilta organisaatiossa.

- *Seiketsu* tarkoittaa standardointia. Organisaation tulee pyrkiä standardointiin kaikissa prosesseissaan ja hyödyntää sitä kautta toistuvaa tekemistä aina kun mahdollista. Järjestelmällisyys on ominaisuus, joka tukee standardointia.
- *Shitsuke* tarkoittaa kuria ja ylläpitoa. Tarkoitus on keinojen kehittämiseksi siten, että asiat tulevat tehdyksi organisaatiossa niin kuin ne on tarkoitettu tehtäväksi. Tarkoitus on luoda työpaikkaan hyvät tavat.



Kuva 11. 5S:n periaatteet esitettynä englanniksi (Business Development Center, 2008.)

### Laatuympyrä, ongelmanratkaisutyökalu

TQM:n ja yleisen jatkuvan kehittymisen tärkeäksi toimintamalliksi on kehittynyt Demingin laatuympyrä. Suurin osa prosessien ja laadun kehittämisestä on sidoksissa laatuympyrään, josta onkin tullut yleisin laadunkehittämismalli TQM:n sisällä. (Cheng, 2008.)

Laatuympyrä on Demingin myötä kehittynyt muotoonsa PDCA (Plan-Do-Check-Act) ja siitä edelleen PDSA (Plan-Do-Study-Act) -malliksi. PDSA-ympyrää kutsutaan usein myös Demingin tai Shewhartin ympyräksi kehittäjiensä mukaan. Kyseisestä mallista esiintyy myös useita erisovelluksia. (Stevenson, 2007.)

Dakinin ja Woodin (1995) mukaan PDCA-sykli on ydinosa TQM:n toteutusta. PDCA-sykli tuo jatkuvan kehittymisen päivittäisen toiminnan tasolle. Jatkuvan kehittymisen ylläpitämiseksi laatuympyrään tulee olla yhtenäisessä käytössä päivittäisessä toiminnassa.

PDSA-sykli ohjaa ensin suunnittelemaan (*Plan*) halutun parannuksen tai muutoksen kaikilta osin. Tämän jälkeen suunnitelma toteutetaan (*Do*) ja dokumentoidaan huomiot. Tehtyjen käytännön testin tulokset arvioidaan (*Study*) ja kootaan. Tulosten perusteella tehdään (*Act*) tarvittavat muutokset suunnitelmaan ja varaudutaan seuraavaan kierrokseen (Kuva 12). (Stevenson, 2007.)



Kuva 12. Demingin-ympyrä (SA Health Manager Wiki, 2008.)

Vastaavasti Six Sigma -laatuperiaate on kehittänyt PDSA -laatutyökalusta oman viisivaiheisen mallin, jota kutsutaan lyhenteellä DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control). Laatuympyrää hyödynnetään Six Sigma -laatuajattelussa vastaavalla tavalla tuotantoprosessien jatkuvan kehittymisen ylläpitämiseksi. (Schroeder et al., 2008.)

### 6.3.2 Työvoiman arvostaminen: motivaation ja osaamisen tärkeys

Yhdeksi tärkeimmäksi asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiskohteeksi kirjallisuuden perusteella mainitaan työvoiman osaaminen. Työvoiman monitaitoisuus ja osaaminen luovat tuotantoon joustavuutta ja vaadittavaa taitotasoa.

Työntekijöiden tärkeys korostuu asiakaslähtöisessä tuotannossa, jossa vaaditaan joustavuutta ja joudutaan käsittelemään korkeaa tuotevariaatiota (Muda & Hendry, 2002). JIT, lean- ja agile-tuotantomalleissa työntekijöiden ammattitaito on avainasemassa tuotannon toiminnassa. Lisäksi useat yritykset painottavat ammattitaitoisen työvoiman tärkeyttä yhdessä teknisen osaamisen kanssa (Amaro et al., 1999.)

Työvoiman ammattitaito on ollut MTO-sektorilla perinteinen vahvuus. MTO-yritysten työntekijöiden tulisi kuitenkin usein saavuttaa vielä korkeampia standardeja motivaation, innostuneisuuden, siisteyden ja huolenpidon, laadunvarmistuksen sekä ennakoivan huollon ja koneiden korjauksen saralla. Näiden ominaisuuksien kehittyminen saa aikaan suuremman positiivisen vaikutuksen MTO-yrityksissä kuin MTS-tuotannossa. (Muda & Hendry, 2002.)

Joustava työorganisaatiotekniikka perustuu useamman tutkijan mukaan työn kierrättämiseen, työtiimeihin, laatuympyrän hyödyntämiseen ja ongelmien ratkaisemiseen työntekijöiden muodostamissa ryhmissä (Cappelli, 1993; Linge, 1991).

## Monitaitoisuus ja osaaminen

Uudet joustavan ja hajautetun työorganisaation muodot tuovat usein työntekijöille suurempia vastuuta, vaativat ryhmätyöskentelyä, vuorovaikutustaitojen kehittämistä sekä kykyä ratkaista ongelmia ja tehdä päätöksiä ryhmissä (Gale et al., 2002). Murnane ja Levy (1996) esimerkiksi kuvaavat, kuinka tuotanto ja toimistotyöt ovat kehittyneet erikoistuneista vähän päätöksentekovastuuta vaativista tehtävistä laajemmin määriteltuihin töihin. Työntekijöiden täytyy voida suorittaa useita tehtäviä, toimia ryhmän jäsenenä, suorittaa laatutarkastuksia ja ratkaista puolirakenteellisia ongelmia (Gale et al., 2002).

Uusien työorganisaatiokäytäntöjen hyödyntäminen näkyy tutkimuksien perusteella vaatimuksena ongelmanratkaisu- ja tiimityöskentelykyvyn kehittämisessä, kun taas tuotantoteknologian käyttöön liittyy voimakkaimmin tietokonetaitojen vaatimukset (Gale et al., 2002).

Kouluttaminen on tärkeä menetelmä työntekijöiden osaamisen kartuttamiseksi, ja sitä painotetaan yleisesti japanilaisessa tuotantotekniikassa (Stevenson, 2007; Muda & Hendry, 2002). Tiimityöskentely myös parantaa yleistä osaamista, kun ongelmat voi jakaa muiden kanssa. Tehtävien suorittaminen tiimeissä onkin suotavaa ja yhä useampi tuotantomalli perustuu tiimityöskentelyyn, kuten lean- ja agile-mallit. Työkokonaisuuksien pilkkomisen kautta on mahdollista pienentää työntekijöiltä vaadittavaa osaamisen laajuutta ja keskittämisen seurauksena vahvistaa yksittäisten tehtävien suorittamista. Pilkkomisella on kuitenkin negatiivinen vaikutus motivaatioon, ja kehittyneissä maissa se ei ole suotavaa (Heilala & Voho, 2001). Sen sijaan tuotteita voisi ryhmitellä ominaisuuksien tai samankaltaisuuksien perusteella määrätyleisille työryhmille kuten solutuotannossa ja ryhmäteknologiassa, mitä muun muassa lean-tuotanto hyödyntää. Tällöin määrätty osaaminen voidaan rajoittaa määrätyleiselle ryhmälle. Lisäksi informaatiovirtojen ja -tekniikan tulee tukea kokoonpanijaa tämän oman osaamisen loppuessa.

## Palkitseminen ja motivaatio

Työntekijöiden motivaatiolla on merkittävä vaikutus työn tehokkuuteen sekä laatuun. Työntekijän sitoutuneisuus työn suorittamiseen on asiakaslähtöisessä tuotannossa olennaista ja vaatimus TQM-laadunhallinnalle. Motivaation kannalta työkuormien tulisi olla tasaisesti jakautuneita ja palkkioiden oikeudenmukaisia. Motivaatioon vaikuttaa myös moni muu työnkuvaan liittyvä tekijä.

Motivaation puutetta ja matalaa työtyytyväisyyttä, jotka tyypillisesti ovat seurausta korkeasta toistoasteesta alkeis- ja perustoiminnoissa, pidetään suurimpina epäkohtina kokoonpanotuotannossa. Siksi on suotavaa antaa työntekijöille yhteneviä työtehtäväkokonaisuuksia, kuten täydellisiä tuotteen osamoduuleita. (Boysen et al., 2008.)

Motivaation kohottamiseksi on tärkeää luoda kokoonpanijoille kokonaisia työkokonaisuuksia (Boysen et al., 2008). Motivaation kehittämiseksi työkuormat tulee tasata työnohjauksen avulla kaikkien työntekijöiden kesken (Zäpfer, 1996). Työkuormien tasaamiseen tähtäävä ajatusta kutsutaan japanilaisittain *heijunka-*



periaatteeksi. Myös ryhmätyöskentelyn nähdään lisäävän työntekijöiden motivaatiota (McCreery et al., 2004). Lisäksi työntekijöiden sitoutuneisuutta ja motivaatiota lisää tunne prosessin omistajuudesta. Tuotantoprosessin kehittämisessä työntekijöiden osallistuminen suunnitteluun ja kehittämiseen onkin tärkeää (Muda & Hendry, 2002). Tietoja ja saavutuksia tulee jakaa tehtaan lattiatasolle. Motivaation kohottamiseksi palkkiojärjestelmän tulisi olla järjestelmällinen ja vapaamuotoinen, mutta tehokas osoittaakseen arvostusta työntekijän yrityksiä ja saavutuksia kohtaan. Yrityksen tulisi palkita tiimejä ja yksiköitä taitoihin perustuen matalakustanteisilla palkinnoilla. Lisäksi yrityksen tulisi investoida työntekijöiden koulutukseen, ristiinkoulutukseen ja uramahdollisuuksiin motivaation parantamiseksi. (Muda & Hendry, 2002.)

### **6.3.3 Tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen: visuaalisuuden parantaminen**

Lean-tuotantomalli ja MTO WCM -periaatteet nimeävät tärkeäksi kehittämisen kohteeksi tuotannon lattiataason ohjauksen yksinkertaistamisen. Yksinkertaistamisen tavoitteena on visuaalisuuden parantaminen, jotta aikaa ei hukkaannu tuotannossa komponenttien etsimiseen ja työkalujen hakemiseen. Visuaalisuuden parantamisen voidaan nähdä parantavan myös ryhmätyötä. (Hendry, 1998.)

Job shop -työskentelyssä aikaa usein tuhlaantuu komponenttien etsimiseen tai pahimmillaan siihen, ettei osia ole todellisuudessa edes saatavilla. Jopa funktionaalisella layoutilla ja yksinkertaisella, näkyvällä varastoinnilla sopivassa paikassa voidaan saada aikaan vanhentuneiden osien poistamista ja raaka-aine- sekä keskeneräisen tuotannon varastojen pienentämistä. (Hendry, 1998.)

Tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistamiseksi modernit tuotantomallit, lean ja agile, sekä projektihallinnollinen ETO-tuotanto suosittelevat tuotannon jakamista soluihin (Narasimhan et al., 2006). Vastaavasti massaräätälöinti ja modernit kokoonpanojärjestelmät korostavat tuotannon moduulimaisuutta (Blecker & Friedrich, 2007). Tuotannon visuaalisuutta voidaan parantaa tuotannossa yksinkertaistamalla varastojärjestelmiä kuten merkitsemällä varastot selvästi ja laittamalla ne sopivaan paikkaan. Visuaalisuus paranee lisäksi lyhentämällä raakamateriaalin, komponenttien ja työkalujen siirtämistäisyyksiä (Muda & Hendry, 2002). Työpisteitä voidaan kehittää visuaalisemmiksi DFA-analyysiä hyväksi hyödyntämällä, kuten lean-tuotannossa (Stevenson, 2007). Lean-tuotanto korostaa näköesteiden poistamista sekä trukkiliikuttelun minimointia (Schonberger, 2007). Varastointijärjestelmän tulisi olla tehokas sekä materiaalin siirron nopeaa, ajantasaista ja joustavaa. Tuotannon esiautomatisointi lyhentäisi virtausreittejä, tarkentaisi sijoituspaikkoja sekä huolehtisi järjestyksestä. Moderneissa optimoiduissa kokoonpanojärjestelmissä suositaan materiaalivirtojen automatisointia ja moduulimaista tuotannonrakennetta (Heilala & Voho, 2001).



## Solutuotanto ja Group Technology

Lean- ja agile-tuotanto sekä modernit kokoonpanojärjestelmät ohjaavat solutuotantoon. Näitä noudattaen tuotteet tulisi järjestellä tuoteperheiksi, jotka voitaisiin tuottaa työryhmän tai tiimin tekemänä (Schonberger, 1986).

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana solutuotannosta on muodostunut tärkeä tuotantokonsepti. Sillä on todennäköisesti suurempi vaikutus tuotannon tehostumiseen kuin millään muulla tuotantokonseptillä. Solutuotanto on sovellus ryhmäteknologian periaatteista osaperheisiin luokitelluille tuotannon komponenteille, joilla on vastaavat prosessointivaatimukset ja/tai geometriset muodot. (Angra et al., 2008.)

Ryhmäteknologia (group technology) on tuotantofilosofia, jonka pääideana on hyötyä samantyyppisistä, toistuvista toiminnoista. Filosofialle löytyy laajalti potentiaalisia sovellusmahdollisuuksia teollisuudesta. Ideana on hajottaa tuotantojärjestelmä pienempiin alijärjestelmiin tuotantojärjestelmän tehokkuuden parantamiseksi. Yksi erityinen ryhmäteknologian sovellus on solumaiset tuotantojärjestelmät, jotka sisältävät koottujen samantyyppisten osien prosessointia niille omistetuilla erityyppisillä koneilla tai tuotantoprosesseilla tuottavuuden lisäämiseksi. (Angra et al., 2008.)

MTO-yritykset ovat useasti perustuneet job shop -pohjaiseen layoutiin. Layoutin muuttaminen job shop -layoutista johonkin toiseen layoutiin tuo epätodennäköisesti positiivisia vaikutuksia MTO-yrityksen toimintaan, sillä tuotevariaatiot ovat yleensä suuria ja määrät pieniä. Joissain tapauksissa voi olla kuitenkin mahdollista ryhmitellä tuotteita perheisiin tai erotella joitain tuotteita keskittyneisiin soluihin ja tämän jälkeen jättää loput tuotannosta organisoiduksi toiminnallisuuden perusteella. (Hendry, 1998.)

### 6.3.4 Informaatiovirtojen parantaminen

Informaatio on yhä tärkeämpi työkalu työntekijöille. Multimediateknologiaa voidaan hyödyntää kouluttamiseen, ja se voi tarjota reaaliaikaista tietoa sekä toimia neuvoo-antavana työkaluna operaattoreille. Informaatiojärjestelmä voidaan integroida tehtaan hallintaohjelmistoihin tarjoamaan yleiskuvaa ja laadunohjausta koskevaa tietoa. Tietovirtojen integrointi mahdollistaa pienerätuotannon ja nopeat tuotemuutokset. (Heilala & Voho, 2001.)

Kysyntä- tai asiakaspohjaisen informaation sulauttaminen osaksi on nousemassa yhä tärkeämmäksi yrityksen tuotannon aikataulutusta, itse tuotantoa sekä logistiikkaan liittyvää tietoa. (Childerhouse and Towill, 2000; Goldman et al., 1994).

Yrityksen sisäisen kommunikoinnin ja tiedon läpinäkyvyyden parantamiseen tähtäävät eri toiminnanohjaus (ERP) -järjestelmät. Parannukset informaatiojärjestelmien suorituskyvyissä ovat johtaneet parempiin laatuosiin tuotteisiin, suurempaan joustoon, lisääntyneeseen luotettavuuteen, mataliin kustannuksiin ja kasvaneeseen nopeuteen. Muun muassa informaatiojärjestelmiä voidaan pitää agile-tuotannon mahdollistajina ja edistäjinä (Gunasekaran &

McGaughy, 2002). ERP-järjestelmien avulla on mahdollista tehostaa kirjauksia, parantaa tiedonlaatua, vähentää järjestelmien ylläpidon kustannuksia ja avata uusia mahdollisuuksia raportointiin (Tenhiälä, 2008).

Tiedon siirtämiseksi informaatiovirtojen hallinta vaatii systemaattisia menetelmiä (Muda & Hendry, 2002). Yleiset vaatimukset tuotannon tietovirroille ovat (Blecker & Friedrich, 2007):

- informaation oikeellisuus,
- informaation tulkittavuuden yksiselitteisyys,
- katkeamaton informaatioketju,
- standardoidut valintavaihtoehdot ja
- päivitetty tuotekonfiguraattori.

Tuotannon informaatiovirtauksen täytyy varmistaa, että kaikki osalliset ovat ymmärtäneet työn tärkeimmät tehtävät ja työskentelevät saman suunnitelman mukaisesti. Tuotannossa olisi hyvä olla pääaikataulus ja usein vielä tarkempi päivittäinen aikataulu. Aikataulujen tulisi olla sekä ajallisesti tarkkoja että helposti kaikkien työntekijöiden saatavilla. Menetelmä voi olla myös manuaalinen järjestelmä, kuten suunnittelutaulu tai tehtävät työt -lista. (Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002.)

### **6.3.5 Läpimenoaikojen leikkaaminen, aikatauluttaminen ja työkuorman ohjaaminen**

Läpimenoaikojen lyhentäminen ja tarkkailu nähdään kirjallisuuden perusteella tärkeäksi useassa räätälöintiä tukevassa tuotantomallissa, kuten massaräätelöinnissä ja lean-tuotannossa.

Yksi asiakaslähtöisen tuotannon tärkeimmistä mittareista on tuotannon läpimenoaika (Zäpfel, 1998; Kosonen & Buhanist, 1995). Massaräätelöinnissä läpimenoaika on merkittävä kilpailutekijä ja yksi tuotannon kehittämisen lähtökohdista (Sievänen, 2008). Aikataulutukselle ja työkuorman kehittämiselle nähdään erityisesti tarvetta joustavuuteen pyrkivässä job shop -ympäristössä (Muda & Hendry, 2002).

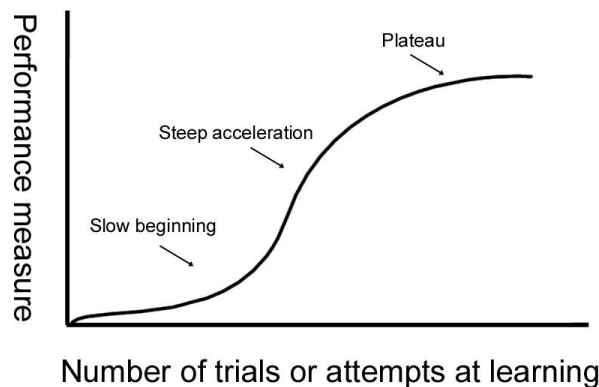
Tuotannonvirtausta voidaan kehittää pienentämällä asetusajoja, tarkastelemalla uudelleen seisona-ajoja sekä huoltopolitiikkoja ja vähentämällä uudelleentekemistä laadun kehittämisen kautta. Esimerkiksi suunnittelemalla uudelleen asetusmenetelmiä ja työkaluvarastojen sijaintia, voidaan saada aikaan suurtakin parannusta. Kaiken kaikkiaan näiden muutosten pitäisi nopeuttaa tuotantoa johtaen lyhyempiin läpimenoaikoihin. (Hendry, 1998.)

Manuaalisen työvoiman yksi merkittävä tekijä on yksilöllinen työkokemus. Oppimisvaikutuksen huomioiminen on erityisen tärkeää manuaalisessa kokoonpanossa, koska seurauksena tehtävien suoritusajat voivat muuttua dynaamisesti (Boysen et al., 2008). Manuaalisen kokoonpanon tuotantokykyä voidaan lisätä paremmalla ergonomialla (Heilala and Voho, 2001).

Yleisesti Japanilaisessa tuotantotekniikassa painotetaan läpimenoaikojen tarkkailua ja minimoimista (Schonberger, 2007). Samoin massaräätälöinnissä tuotteiden räätälöinti perustuu lyhyisiin läpimenoaikoihin, ja tuotanto suunnitellaan siten, että läpimenoajat olisivat mahdollisimman lyhyet. Lisäksi kirjallisuudessa todetaan, että asiakaslähtöisen tuotannon joustavat tuotantoratkaisut, kuten job shop -layout, vaativat usein tuotannonohjauksen kehittämistä visuaalisuuden ja työkuorman pohjalta (Muda & Hendry, 2002).

### Manuaalinen työvoima ja oppimiskäyrä

Ihmisen tehdessä toistuvia suorituksia on havaittu suoritusten paranevan toistojen lukumäärän kasvaessa. Tätä ilmiötä havainnoidaan oppimiskäyrien (*learning curves*) avulla (Kuva 13). Kapasiteetin suunnittelussa voidaan huomioida kyseinen ilmiö toistuvasuoritteisen työn yhteydessä. (Stevenson, 2007.)



Kuva 13. Ideaalinen oppimiskäyrä (Russell, 2007.)

### Työkuorman ohjaus ja aikataulutus

Koska aikataulutus on tuotantoympäristössä olennainen osa tehtaanelämyksen ohjausta, tuotannon suunnittelumenetelmät ovat erityisen tärkeitä. Job shop - pohjaiset ohjausmenetelmät työkuorman suhteen ovat vielä kehitteillä. Kuitenkin viimeaikaiset tutkimukset suosittelivat työkuorman ohjaukseen perustuvia menetelmiä. Tämä sisältää aikataulutuksen ja työkuorman ohjauksen. Työkuorman ohjausta voidaan käyttää hyväksi tehtaanelämyksen kokonaistyon ohjauksessa siten, että luvut toimituspäivät toteutuvat, mikä on MTO-tuotannon tärkeä tavoite. (Muda & Hendry, 2002.)

Työkuormanohjauksen tai aikataulutusjärjestelmän tulee olla käytännöllinen, yksinkertainen ja helposti toteutettava. Edellytyksenä ohjauksen ja aikataulutuksen toimivuudelle on tehokas tietokanta, jota voidaan muokata prioriteettien muuttuessa (Muda & Hendry, 2002).

Vaihtoehtoisen uuden luokan suunnittelujärjestelmän MTO-yrityksille tunnistivat tutkijat Wisner (1995) sekä Zäpfel ja Missbauer (1993). Luokan järjestelmiä on kutsuttu työkuormanohjausjärjestelmiksi (WLC, Workload Control) tai tilauksien tarkastelu- ja vapautusjärjestelmiksi (ORR, Order Review/Release). Järjestelmä pyrkii ohjaamaan kokonaistyömäärää, joka on vapautettu tehtaan lattiatasolle siten, että keskeneräisen työn varasto (WIP) vähenee ja lattiataason näkyvyys paranee. (Hendry, 1998.)

Tyypillinen WLC-konseptin ominaisuus on hyväksytyjen töiden kokoaminen työpottiin. Vapautusmekanismi valitsee jaksottaisesti työt, jotka vapautetaan tuotantoon. Prioriteettisäännöt määräävät töiden järjestyksen, jolla työt prosessoidaan työpisteille. Vapautusmekanismi koostuu kahdesta komponentista: ensiksi työt järjestetään niiden suunniteltujen vapautuspäivämäärien mukaan ja sitten ne tarkastetaan työpistekohtaisia työkuormanormeja vasten. Mikäli työ sopii normeihin, se valitaan ja sisällytetään työkuormaan. Työ, joka aiheuttaisi normien ylittymisen, joutuu odottamaan seuraavaa vapautushetkeä. (Land, 2004.)

Bertrand ja Van Oijen (2002) perustelivat, että WLC vakauttaa tuotannon suorituskykyä ja tekee siitä tulevan tilausvirran variaatioista riippumattoman. WLC on välttämätön ohjausmenetelmä tuotantolaitoksille, jotka toimivat korkealla kapasiteetin hyödyntämisasteella, joiden tilaukset saapuvat vaihtelevalla syklillä, tai joiden prosessointiaikoihin vaikuttaa työkuorma.

### Visuaalinen tuotannonohjaus

Visuaalinen tuotannonohjaus on yksi japanilaisia tuotannon ominaismerkkejä; muun muassa JIT- ja lean-tuotantofilosofiat perustuvat visuaaliseen tuotannonohjaukseen. Molemmissa tuotanto on myös imuohjautuvaa kanban-korttien ohjauksessa varastojen täyttämistä ja sitä kautta edelleen tuotantoa. (Stevenson, 2007.)

Hyvin toimiva sosiotekninen järjestelmä joustavassa konepajaympäristössä edellyttää Kuisman (2007) mukaan selkeää päävirtausta, visuaalista ohjausta ja oikeita ohjausperiaatteita. Jos ohjaus rakennetaan toiminnanohjausjärjestelmän varaan, on järjestelmän tietojen oltava ajan tasalla.

Vail et al. (1996) tarjoaa esimerkin yrityksestä, joka käyttää tehokkaasti hyväkseen manuaalista tuotannonohjaustaulua. Manuaalinen ohjaus on olennaista kaikenlaisille tuotantoyrityksille. Erityisen tärkeää se on job shop -ympäristössä, jossa Johnstonin (1995) kuvailemaa tilannekohtaista hallintaa ei voida saavuttaa helposti. Reed (1994) ehdottaa, että tehtävientöiden lista voi olla suositellumpi job shop -pohjaisissa ratkaisuihin kuin kanban-järjestelmä, vaikkakin viimeksi mainittu voi olla parempi organisaation osissa, joissa on tarvetta toistuville prosesseille. (Hendry, 1998.)

Kuten Kone-casen esimerkissä asiakastilaus tulee myyjän välittämänä paperilla tuotantoon. Tuotannonohjaus ja suunnittelu toimivat visuaalisesti käyttämällä samaa paperia ilmoitustaululla. Tuotantoaikataulu on näin aina näkyvässä. (Kosonen & Buhanist, 1995.)

Tuotannonohjauksesta huolehtii työntekijätiimi ja siten ohjauksen ymmärtävät kaikki asianomaiset. Näin ohjaus ei ole tallennettu vain yhden henkilön muistin varaan. (Hendry, 1998.)

### **6.3.6 Laitteistojen kehittäminen ja hankkiminen: yksinkertaiset, joustavat, liikuteltavat ja matalakustanteiset laitteistot**

Asiakaslähtöinen joustavuuteen ja nopeaan reagointiin perustuva tuotanto vaatii joustavuutta myös laitteistojen suhteen, mistä seuraa laitteiston valinnalle kriteereitä (Muda & Hendry, 2002).

Tuotannon työvälineistö tulisi hankkia sille asetettujen tavoitteiden perusteella. Työvälineiden huollon tulee toimia tavoitteiden saavuttamiseksi. Välineistön suorituskykyä pitää jatkuvasti tarkkailla ja kunnossapitää toimintomääritysten mukaisesti. Tavoitteena on varustaa kaikki työpisteet hyvin joustavilla ja liikuteltavilla laitteistoilla. (Muda & Hendry, 2002)

### **6.3.7 Aloitus- ja asetusajojen leikkaaminen sekä huoltotoimien ennakoiminen**

Japanilaisten tuotantomenetelmien, kuten JIT ja lean, perusajatukseen sisältyvät asetusajojen leikkaaminen ja ennakoivat huollot. Ajatuksen seurauksena on mahdollista poistaa tuottamatonta tekemistä ja tehostaa tuotannon virtausta. Asetusajat harvemmin kuitenkaan tuottavat ongelmia kokoonpanotyössä (Sieväsen, 2008).

Osien yleiskäyttöisyyden lisääminen ja standardiosien tuottamiseen tähtääminen ovat päämenetelmiä saatavilla olevan kapasiteetin lisäämiseksi. Tämä ei aina kuitenkaan ole mahdollista asiakkaan osallistuessa ja vaikuttaessa tuotteen suunnitteluprosessiin. Aina on mahdollista kuitenkin vähentää asetusajoja esimerkiksi varmistamalla työkalujen sijoittaminen sopiville paikoille ja sovitteiden muuntaminen siten, että ne menevät paikoilleen esimerkiksi hahlojen avulla enemmän kuin ruuvaamalla. (Hendry, 1998)

Samoin sopivalla huoltopolitiikalla voidaan maksimoida koneiden käyttöajat, millä on suuri vaikutus tuotteiden läpimenoon (Oakland, 1993). MTO WCM -periaatteet ohjaavat työntekijöiden kouluttamista tuotannon kehittämiseksi asetusajojen pienentämiseksi samoin kuin yleisen ennakoivan huollon ylläpitämiseksi. Operaattoreiden tulisi osata suorittaa oman pisteensä ennakoivat huoltotoimet. (Muda & Hendry, 2002.)

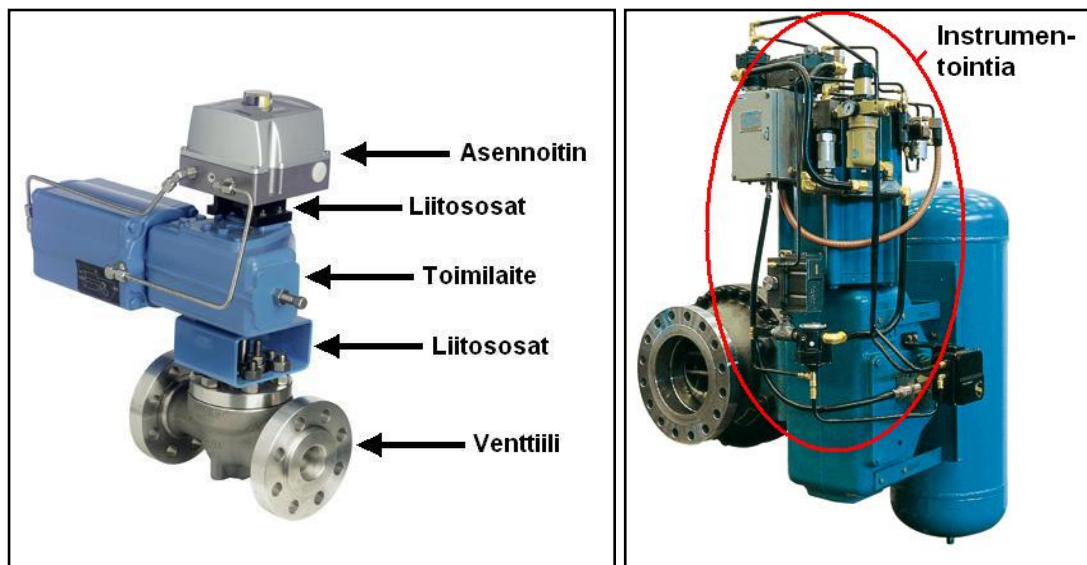
## 7 Tuotannon muutostarpeet Flow Control -tuotelinjalle

Helsingin toimituskeskuksen tuotannon muutostarpeet johtuvat pitkälti muutoksista tuotevalikoiman räätälöintitasoissa. Toimituskeskuksen tuotteissa tulee näkymään yhä voimakkaammin asiakkaan sormenjälki.

Luvun tiedot ja materiaali perustuvat Metso Automationin (2008) sisäisiin tiedotteisiin, sekä epävirallisilla että virallisilla haastatteluilla kerättyyn materiaaliin.

### 7.1 Flow Control -tuotelinjan tuotteet

Metso Automationin Flow Control -liiketoimintalinjan tuotteet ovat virtauksen säätöratkaisuja, toisin sanoen venttiiliyhdistelmiä. Ne koostuvat kolmesta pääkomponentista, jotka ovat: venttiili, toimilaite ja venttiilinohjain (asennoitin). Näiden lisäksi yhdistelmään kuuluu liitososia ja ratkaisusta riippuen vaihteleva määrä instrumentointiosia (Kuva 14).



Kuva 14. Esitettynä ovat yksinkertainen venttiiliyhdistelmä pääkomponentteineen sekä yhdistelmä, jossa on huomattavasti instrumentointia (Metso Automation, 2008).

#### Venttiili

Venttiili on yhdistelmän osa, joka on kosketusyhteydessä säädettävän virtauksen väliaineeseen. Venttiiliä voidaan käyttää joko säätö- tai sulkutarkoitukseen. Sulkuelimen mukaan venttiilit voidaan vielä jakaa kiertoistukka-, läppä-, pallo- ja segmenttiventtiileihin sekä muutama erikoisventtiilityyppiin. Erityyppisiä

venttiileitä on tarjolla hyvin erikokoisina aina muutaman sentin halkaisijasta aina kahden metrin halkaisijaan asti. Vastaavasti venttiilien materiaalit vaihtelevat olosuhteiden ja virtaavan väliaineen mukaan keraamisista pinnoitteista useisiin eri teräslaatuihin. Toimintalämpötiloja tuotteille luvataan -196 °C asteesta aina 600 °C asteeseen asti.

Yhdistelmän pääkomponenteista venttiilistä löytyy eniten variaatiomahdollisuuksia. Variaatioiden lukumäärän takia venttiilit ovat lähes aina tilauskohtaisia. Helmikuun 2008 tilauskanta sisälsi kymmenen prosenttia vakioiksi luokiteltuja venttiileitä (Lappi, 2008). Lisäksi vuoden 2008 tilauksissa oli tyyppikoodien perusteella yli 4 600 erilaista venttiiliä.

## Toimilaitte

Toimilaitteen tarkoituksena on liikuttaa venttiiliä ja toimia ikään kuin säätöyhdistelmän lihaksena. Toimilaitteet ovat pääasiallisesti kaikki pneumaattisia. Osassa ratkaisuja käytetään palauttamiseen jousivoimaa. Tätä ominaisuutta tarvitaan ongelmatilanteissa, joissa esimerkiksi yhdistelmältä katkeaa sähkö tai paineilma. Tällöin jousi ajaa yhdistelmän sulkuelimen haluttuun suuntaan. Toimilaitteita on tarjolla myös käsivaihteella, mikäli halutaan säilyttää mahdollisuus venttiilin käsiohjaukseen. Tarjolla on kolmea eri toimilaitetäytyyppiä, jotka eroavat toisistaan jonkin verran toimintaperiaatteensa myötä. Kaikista näistä tyypeistä löytyy eri kokoja sekä jousipalautteisina että täysin painetoimisinä. Erilaisia toimilaitteita tyyppikoodin perusteella vuonna 2008 oli noin 1 100 kappaletta.

## Venttiiliohjain eli asennoitin

Venttiiliohjain säätää toimilaitteen välittämänä venttiilin sulkuelimen asentoa ja täten ohjaa virtausta halutulla tavalla. Säätoventtiilien ohjainta kutsutaan asennoittimeksi. Asennoittimia on saatavilla pneumaattisesti, sähköpneumaattisesti ja digitaalisesti toimivina. Näistä vanhimpia ovat pneumaattiset ja sähköpneumaattiset asennoittimet, jotka ovat 2000-luvulla alkaneet korvautua itsediagnostiikkaa sisältävillä digitaalisilla ohjaimilla. Digitaalisia asennoittimia löytyy tukemaan kolmea eri väylää ”Profibus PA”, ”Foundation Fieldbus” ja ”HART”. Yksi yleisimpiä asennoittimia on niin sanottu älykäs digitaalinen säätöventtiiliohjain ND9000, joka soveltuu useisiin säätöratkaisuihin. Lisäksi turvatoimintoihin löytyy digitaalinen VG9000-ohjain sekä määrättyihin säätöratkaisuihin soveltuva digitaalinen SG9000-ohjain.

Ohjaimen tilalla voi olla myös rajakytkimet, jotka esittävät vain sulkuelimen asentoa ja lähettävät näistä tietoa eteenpäin. Tilaukset yhä useammin saattavat sisältää myös kilpailevien valmistajien asennoittimia.

Eri asennoittimet vaativat erityyppisiä viritysmenetelmiä, ja usein kokoonpanijat joudutaan kouluttamaan erikseen aina erikoisempia ohjaimia varten. Asennoittimen tunteminen ja virittäminen vaativat ammattitaitoa, jota kertyy usein vasta kokemuksen kautta. Asennoittimia oli vuonna 2008 tyyppikoodiltaan 280 erilaista ja näistä kilpailevien valmistajien tuottamia noin kahdeksan prosenttia.



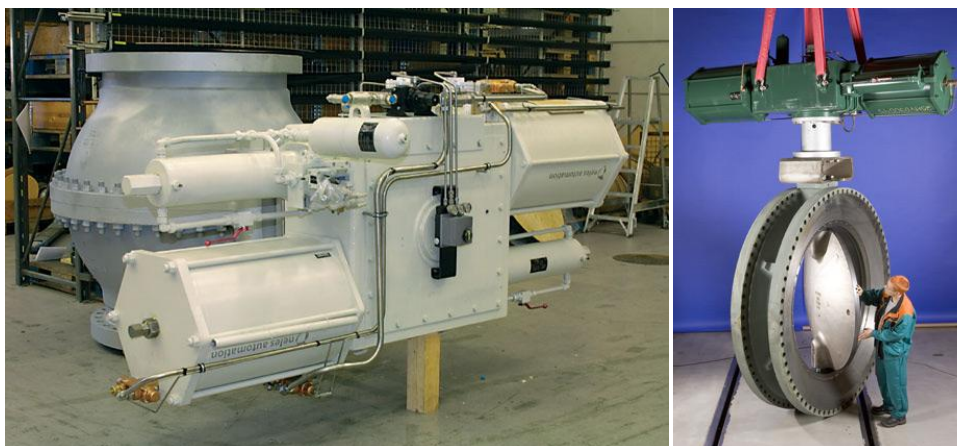
## Instrumentointi

Instrumentointiin luetaan kaikki venttiiliyhdistelmän pääkomponenttien lisäksi tulevat lisäkomponentit kuten muun muassa suodattimet, putket, paineilmasäiliöt, boosterit, magneetti-/paineilmaventtiilit ja mittarit. Instrumentoinnin avulla säätöratkaisu saadaan toimimaan halutulla tavalla eri vaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi boostereita käytetään yhdistelmän toiminta-aikojen nopeuttamiseksi. Vastaavasti paineilmasäiliöt mahdollistavat yhdistelmän ajettavuuden paineiden kadotessa, ja magneettiventtiileillä voidaan ohittaa yhdistelmän pääohjaus erikoistilanteissa. Usein instrumentointivaatimukset vaihtelevat suuresti tilauksesta toiseen.

Instrumentointi on kokoonpanon vaativin osa. Instrumenttikuviin perustuvan halutun toiminnan toteuttaminen vaatii kokoonpanijalta ammattitaitoa ja kokemusta pneumatiikan osalta.

## Liitososat

Venttiilin, toimilaitteen ja ohjaimen varioidessa säätöyhdistelmässä myös niiden rajapinnat vaihtelevat hiukan komponentista toiseen. Liitososien tarkoituksena on sovittaa pääkomponentit yhteen, ja ne koostuvat aluslevyistä, palkeista ja erilaisista holkeista. Useimmiten liitososia tulee toimilaitteen ja venttiilin väliin sekä usein myös ohjaimen ja toimilaitteen väliin. Liitososien valinnassa joudutaan ottamaan huomioon käyttöolosuhteet. Liitososien kirjo on suuren yhdistelmävariaation takia suuri.



**Kuva 15. Kokoonpantuna esitettynä vaativa ja isokokoinen venttiiliyhdistelmä (Metso Automation, 2008).**

Tuotteiden koko ja monimutkaisuus vaihtelevat paljon sovelluskohteesta riippuen. Tuotteiden variaatio on laaja, ja kokoonpanon vaikeustaso vaihtelee yhdistelmän koon ja monimutkaisuuden seurauksena. Kokemuksen perusteella sellu- ja paperituotantolaitoksille suunnatut tuotteet ovat yksinkertaisempia ja



standardimaisempia kuin energia- ja prosessipuolelle menevät. Energia- ja prosessipuolen tuotteita usein räätälöidään enemmän, ja ne ovat rakenteeltaan monimutkaisempia (Kuva 15).

## 7.2 IQI-tuotantoprosessi ja -tuotteet

Metso Automationin FC-tuotelinjan varastotavarasta poikkeavat yhdistelmät käyvät tilausvaiheessa läpi sisäisen IQI (Internal Quotation Inquiry) -kyselyprosessin. Tämän avulla selvitetään tuotteen toimitusaika ja hinta sekä ylipäättänsä mahdollisuudet tuotteen valmistamiseksi. Useimmiten kyseessä on erikoisemman yhdistelmän tilaus, jonka komponentit ovat arvokkaita varastoida, tai joiden menekki on pieni. Näiden lisäksi kaikki monimutkaiset ja erillisen suunnittelun vaativat tuotteet tulevat samasta prosessista.

Global Footprint -tuotantostrategian pohjalta Metson Helsingin toimituskeskus keskittyy tuottamaan yhä erikoisempia IQI-yhdistelmiä. Kaikki räätälöidyt tuotteet käyvät tämän prosessin läpi, ja niiden määrä on kasvamaan päin.

IQI-prosessia koskeva tieto on kerätty myynnintuen myynti-insinöörin Hyvösen (2008) haastattelusta.

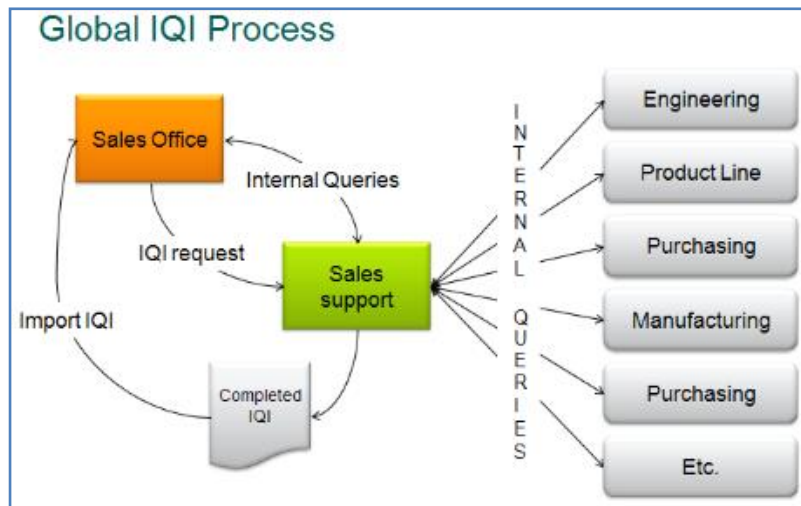
### 7.2.1 IQI-tilausprosessi

Standardituotteiden tilausprosessissa tuote konfiguroidaan Bernie-myyntikonfiguraattorilla. Valmiista tuotteesta tehdään tilaus ja tuoterakenne muodostetaan tuotetiedonhallintajärjestelmän (ATON) avulla. Valmis tilaus tuoterakenteineen syötetään materiaalien tarvelaskentaohjelmaan MFG PRO:hon (MRP). Ohjelma laskee komponenteille toimitusajat takautuvasti valmiin tuotteen toimitusajasta. Tuotteen toimitusajoille ja hinnalle on määriteltä arvot ennakolta.

IQI-prosessi poikkeaa standardista prosessista jo alusta lähtien. Tarjouksentekovaiheessa tuote saa IQI-leiman, mikäli kaikkia tietoja sen valmistamista varten ei ole saatavilla. Tällaisiin tilanteita ovat esimerkiksi:

- tuotteelle ei ole ennalta määritettyä hintaa tai toimitusaikaa,
- tuotteelle asetetaan erikoisvaatimuksia: testejä tai standardista poikkeavia toiminta-aikoja,
- tuotekonfigurointi tehdään suosituksista poikkeavalla tavalla tai
- tuotetta ei löydy tietokannasta tai se on määritetty IQI-leiman vaativaksi erikoistuotteeksi.

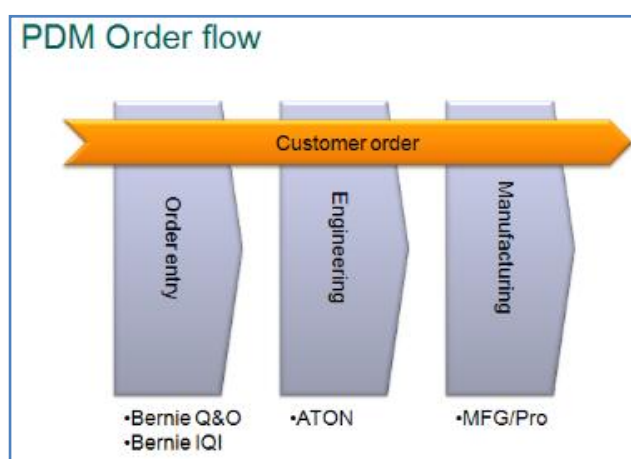
Sisäiset IQI-kyselyt siirtyvät sähköpostilla asianosaisille joko tuotantoon tai suunnitteluun. Kyselyketju voidaan linkittää, mikäli tarvitaan tietoa useampiin kysymyksiin. Kysely kiertää tarvittaessa useamman eri ihmisen ja osaston kautta. Kun kaikki tarvittava tieto on saatu kerättyä tuotteesta, valmis tarjousehdotelma yhdistelmästä lähetetään takaisin myyntiin (Kuva 16).



Kuva 16. IQI-tilausprosessi (Hyvönen, 2008.)

Hyväksytty tarjous lähettää sisäisen IPO (Internal Purchase Order) -tilauksen, jonka mukana kulkee IQI-numero ja tiedot liittyen IQI-kyselyyn. Järjestelmissä tilaus siirtyy Berniestä ATON:in kautta MRP-ohjelmistolle, MFG PRO:lle.

ATON:ssa koostetaan tuoterakenne (BOM, Bill of Materials). ATON-tietokanta sisältää oman konfiguraattorin, joka luo tuoterakenteet attribuuttien ja sääntöpuiden avulla. ATON:ssa yhdistelmästä erotellaan standardit osat ja suunnittelun vaativat osat, IQI-osat. Tilaus jää odottamaan ATON:iin, kunnes kaikki osat on suunniteltu valmiiksi. Valmiiksi suunnitellun osan tilaksi tulee ”Transfer”, ja tiedot osista siirtyvät ATON:sta MFG PRO:hon. MFG PRO:n kautta yhdistelmän osaluettelot lähetetään venttiilitehtaalle ja toimilaitetehtaalle komponenttien kasaamiseksi. Yhdistelmäkokoonpanolle luodaan työkortti ohjaaman kokoonpanoa (Kuva 17).



Kuva 17. IQI-tilauksien virtaus tuotantoon (Hyvönen, 2008.)

Työkortti on kasaamisen tukena, mutta tästä ei kuitenkaan käy ilmi suoraan, että kyseessä on IQI-tilaus. Työkortin vapaaseen kommenttikenttään kirjoitetaan

yhdistelmän vaatimat erikoistoimet esimerkiksi erikoismaalaus. Komponentteja koskevat kentät tulostuvat standardimaisesti sisältäen perustiedot osista.

2008 vuoden alusta IQI-tarjousrivejä oli yhdeksässä kuukaudessa tehty 14 000 kappaletta. Noin 40 prosenttia IQI-tarjouksista etenee tilauksiksi (Hyvönen, 2008).

### 7.2.2 IQI-tuotteet

Tuotantostrategian ohjaamat IQI-tuotteet vaativat tilauskohtaista informaatiota ja siten tuotannolle lisääntyviä informatiovirtoja asiakaskohtaisten vaatimusten täyttämiseksi. Komponenttien valmistuksessa asiakkaalla on mahdollisuuksia vaikuttaa muun muassa komponenttien kokoon, väriin, pinnoituksiin, lämmönkestoon ja testausmenetelmiin. Yhdistelmäkokoonpanossa vastaavasti asiakas halutessaan pystyy vaikuttamaan muun muassa yhdistelmän viritysparametreihin, toimintaominaisuuksiin ja testausmenetelmiin sekä tarkastustapoihin. (Hyvönen, 2008.)

IQI-tuotteet sisältävät lähes aina jonkin sortin räätälöintiä. Tällöin ne usein ovat MTO- tai ETO-tuotteita. MTO-kategorian tuotteita ei ole varastossa, mutta tuotteelle on jo valmis rakenne. Raskaat ja suuremmat yhdistelmät ovat lähes aina IQI-tuotteita, koska niiden varastoiminen on kallista. IQI-tuotteiden lisääntymisen myötä tuotteet ovat enenevässä määrin ETO-tyyppisiä yhdistelmiä, jotka vaativat tilauskohtaista suunnittelua joko komponenttitasolla tai, kuten useimmiten, yhdistelmätasolla. Yhdistelmän toimintaominaisuuksia voidaan muokata komponenttivalinnoilla sovelluskohteen vaatimusten mukaisiksi. Yhdistelmän ominaisuudet säädetään instrumentointien avulla. Määrätyissä tapauksissa tuotteet voivat olla myös niin sanottuja ATO-tuotteita. Näissä tapauksissa tuotteen komponentit löytyvät varastosta, mutta yhdistelmille vaaditaan erikoistestejä tai erityisiä viritysparametreja. Tuotteet Helsingin tehtaalla tulevat tuotantostrategian (Global Footprint) ja IQI-tilausprosessin mukaan perustumaan lähinnä ETO- ja MTO-tuotteisiin (Nieminen, 2008). Vakiotuotteiden ATO-tuotanto tullaan keskittämään Helsingin tuotannosta Shanghaiin tehtaalle (Nieminen, 2008).

## 7.3 Tuotantostrategian (Global Footprint) muotoutuminen

Tuotantostrategia myötäilee Metson yleistä liiketoimintastrategiaa.

Tuotantostrategiassa painottuu FC-liiketoimintalinjan ydinosamisaalue, joka voidaan nähdä yhdistelmien kokoonpanotyönä ja virittämisenä sekä testaamisena. (Nieminen, 2008).

Global Footprint -tuotantostrategiaa koskeva tieto koostuu Global Footprint -projektin päällikön Niemisen (2008) haastattelusta.

### 7.3.1 Metson liiketoimintastrategia

Metso Automationin liiketoimintastrategia luo pohjan yrityksen tavoitteille ja menetelmille. Yrityksen kaikkien toimien tulisi olla liiketoimintastrategian mukaisia. Metso Automationin liiketoimintastrategia perustuu ja myötäilee Metso-konsernin liiketoimintastrategiaa.

Vuosina 2008 – 2012 Metso-konsernin liiketoimintastrategia pohjautuu tuottavaan kasvuun, joka saavutetaan kestäväen kehityksen kautta. Kasvua tavoitellaan palveluliiketoiminnan alalta ja nousevilta markkinoilta. Energia- ja ympäristöteknologia luovat uusia kasvumahdollisuuksia. Liiketoiminnan kasvattamiseksi Eloranta (2008) näkee tärkeänä esilläolon nousevilla ja kasvavilla markkinoilla, palveluliiketoiminnan kasvun sekä tuottavuuden parantamisen laadukkaiden ja ansiokkaiden toimintojen kautta. Kaiken takana ovat Metson pitkäaikaiset kasvu- ja tuottavuustavoitteet. (Eloranta, 2008.)

Metso Automationin asiakkaina ovat selluntuottajat, kartonki- ja paperiteollisuus sekä yhä kasvamassa määrin energia-, öljy- ja kaasuteollisuus. Myynnistä 55 prosenttia on tullut energia-, öljy- ja kaasuteollisuudesta ja loput 45 prosenttia sellu- ja paperiteollisuudesta. Tulevaisuuden näkymät painottuvat energian, öljyn ja kaasun puolelle. (Eloranta, 2008.)

Suosiolliset markkinat näyttävät jatkuvan Metson liiketoiminta-alueilla saatujen tilauksien 07/2007 – 06/2008 perusteella (Kuva 18) (Eloranta, 2008).



Kuva 18. Metson markkinanäkymät saatujen tilauksien perusteella (07/07-06/08) (Eloranta, 2008).

### 7.3.2 Tuotantostrategian muutoksenajajat

Kysynnän merkittävät kasvuennusteet erityisesti energia- ja hiilivetyteollisuuden (EHC, Energy & Hydrocarbon) tuotteiden saralla sekä potentiaaliset kasvumahdollisuudet ovat asettaneet vaatimuksia Metso FC:n tuotannon kapasiteetin lisäämiseksi. Konsulttien kanssa yhteistyöllä tehdyllä tutkimustyöllä selvitettiin kapasiteetin kasvattamismahdollisuuksia. Muutostarpeelle voitiin nimetä viisi eri tekijää (Nieminen, 2008):

- 1) Erityisesti EHC-markkinoilla on havaittavissa voimakasta kysynnän kasvua. Samoin kysynnän painopisteen on havaittu siirtyvän kohti eteläistä pallonpuoliskoa. Näkymien perusteella FC-liiketoimintalinjan tulisi tuplata kapasiteettinsa seuraavien neljän vuoden aikana. Tämänhetkisessä (2008) kapasiteetissa on suuri kuilu tulevaisuuden näkymiin.
- 2) Jatkuva kapasiteetin kasvattaminen Helsingissä ei ole mahdollista eikä tarkoituksenmukaista. Tilat rajoittavat kapasiteetin kasvua.
- 3) Uutta nousevaa EHC-tuotteiden päivittäiskauppaa ja huoltoliiketoiminnan kasvua on havaittavissa alueilla, joita Metso Automationin palveluverkosto ei kata. Nämä liiketoimet vaativat lyhyitä toimitusaikoja ja nopeaa reagointia asiakkaan toiveisiin ja siten logistisesti lyhyempiä etäisyyksiä asiakkaisiin.
- 4) Alan kilpailupaine pakottaa hyödyntämään paremmin kustannuskuilua matala- ja korkeakustanteisten maiden välillä. Kapasiteetin ja kustannusten joustavuutta tulisi myös lisätä. Tulevaisuuden markkinoiden epävarmuus pakottaa huomioimaan edellä mainitut tekijät.
- 5) Tällä hetkellä on akuutti puute teräsvalimoiden kapasiteetista Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Uusia valimoita perustetaan kehittyviin maihin.

### 7.3.3 Tuotantostrategian ohjaavat kulmakivet

Yllä mainittujen muutosajureiden perusteella luotiin niitä vastaamaan mahdollisimman osuva toimintastrategia. Vastaukseksi kysyntänäkymien kasvuille ja kasvupotentiaalille syntyi Global Footprint -tuotantostrategia. (Nieminen, 2008.)

Global Footprint -strategian tarkoituksena on varmistaa tuotannon kapasiteetin kysyntä tulevaisuuden näkymiä vastaavaksi viiden kulmakiven avulla.

- **Metso Automationin (MA) Flow Controlin (FC) kokonaiskapasiteetin tulisi tuplaantua vuoteen 2011 mennessä.** Kapasiteetin lisäys tulee tehdä seuraavalla tavalla:
  - toiminnot siirtyvät lähemmäksi kasvukeskuksia (Kiina, Asian Tyynenmeren rannikko, Lähi-itä),
  - toimitusketjun monimutkaisuutta tulee vähentää ja
  - Helsinki ei kasva koossa tai volyymissä.
- **Varastoitujen ja varastoimattomien tuotteiden toimitusketjut tulee erottaa toisistaan.** Varastoidut tuotteet tuotetaan matalakustanteisissa maissa, kuten Kiinan Shanghaissa, ja varastoimattomat niin kutsutut tilaustuotteet taas korkean osaamisen tehtaissa, kuten Suomen Helsingissä. Pitkällä aikavälillä Shanghain pitäisi pystyä tuottamaan myös tilaustuotteita paikallisalueilleen, mikäli puitteet ja osaaminen kehittyvät sen vaatimalle tasolle.

- **Osat tuotteisiin hankitaan valmiina tai karkeakoneistettuina.** Kapasiteettia ei haluta kasvattaa ydinosaamisalueen ulkopuolelle ja toisaalta laatu halutaan varmistaa. Vain viimeistelykoneistukset tehdään tilaustuotteille, ja muutamat varasto-osat särmätään talon sisällä.
- **Kokoaminen ja yhdistelmäkokoonpano nähdään yrityksen ydinosaamisena.** Yhdistelmäkokoonpanoa suoritetaan kaikissa toimituskeskuksissa päivittäiskaupan kattamiseksi. Projektien yhdistelmäkokoonpano tehdään toimituskeskuksessa, joka toimii päätoimittajana, eli Helsingissä tai Shanghaissa.
- **Päivittäiskaupan kasvualustaksi on suunnitteilla uusia toimituskeskuksia** Lähi-itään, Asiaan Tyynenmeren rannikolle ja alustavasti myös Venäjälle, Intiaan ja Etelä-Afrikkaan.

Tuotantostrategia ohjaa Helsingin toimituskeskukselle tilauskohtaisten tuotteiden kokoonpanoa; nämä ovat usein räätälöityjä ja kokoonpanon näkökulmasta haastavia yhdistelmiä. Lisäksi kasvua haetaan kasvavilta markkinoilta EHC-tuotteiden rintamalla, mikä kokemuksen perusteella näkyy kokoonpanossa monimutkaisempina, suurempina ja ainutlaatuisina yhdistelminä.

## 7.4 Muutoksen vaatimukset Helsingin toimituskeskukselle

Tuotantostrategia ohjaa Helsingin toimituskeskukselle jatkossa yhä enenevässä määrin räätälöityjä erikoistuotteita. Vakiotuotteiden tuotanto ohjataan Shanghain toimituskeskukselle lähelle kasvavaa markkina-aluetta. Helsingin toimituskeskuksen tulee sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin ja kehittää tuotantonsa vastaamaan räätälöityjen ja ainutlaatuisten tuotteiden tuotantoprosessia.

Kehityksen suunnan perusteella Helsingin toimituskeskuksen tuotannon haasteina tulevat olemaan yhä kasvava variaatiotaso ja vaativammat yhdistelmät. Vaativuutta lisäävät muun muassa yhdistelmien ainutkertaisuus, tuotevariaation kasvu, entistä vaikeammat konfiguraatiot sekä yhdistelmien koko ja vaihtelevuus. Lisäksi asiakasvaatimukset yhdistelmien virittämistä ja testaamista koskien ovat kasvamaan päin. Kokoonpanotuotannon vaatimustason kasvu tulee näkymään itse kokoonpanotyössä samoin kuin yhdistelmien virittämisessä ja testaamisessa.

Tuotannon muutoksen seurauksena voidaan nähdä ainutlaatuisten ja asiakasvaatimusten mukaan valmistettujen tuotteiden kasvattavan kokoonpanon vaatimustasoa sekä osaamisnäkökulmasta että tiedon siirtämisen näkökulmasta. Tuotevariaation kasvu sekä entistä vaikeammat yhdistelmät **lisäävät osaamiselta vaadittavaa tasoa ja vähentävät toistuvuuden tuomaa oppimista.** Kokoonpanijan tulee hallita yhä laajempia työkokonaisuuksia sekä entistä enemmän komponenttikohtaista tietoa. Harvemmin toistuvan tekemisen seurauksena kokoonpanijalta vaaditaan yhä enemmän itsenäistä ongelmanratkaisukykyä ja tuotteiden tarkkaa tuntemusta. Tiedon siirtämisessä tämänsuuntainen kehitys tulee näkymään **lisääntyvinä ja tilauskohtaisina informaatiovirtoina.** Kokoonpanoa

koskevan tilauskohtaisen tiedon on tultava oikeaan aikaan ja oikeille henkilöille muuttumattomana ja täydellisenä.

Tuotantoprosessin kannalta ainutlaatuisten tuotteiden valmistamisessa ei päästä hyödyntämään aikaisempaa kokemusta ja kertynyttä osaamista, vaan **ongelmanratkaisukyky ja jatkuva kehittyminen** nousevat hyvin tärkeään osaan. Ainutkertaisten tuotteiden myötä tuotannossa syntyy uusia ongelma- ja virhetilanteita, jotka ovat haaste tuotannonkehitykselle. Korkea variaatiotaso ja ainutkertaiset tuotteet **vaikeuttavat myös tuotannon ennustamista ja kapasiteetin hallintaa**. Tämä näkyy tuotannon suunnittelun ja ohjauksen haasteena. Tuotevariaatioiden lisääntymisen myötä **varastovariaatiot tulevat kasvamaan** ja haasteena tulee olemaan komponenttien selkeä varastoiminen. Lisäksi **komponenttivalmistajilta vaaditaan ainutlaatuisten tuotteiden kanssa täsmällisyyttä ja hyvää laatua**; tämä on edellytys kokoonpanotuotannolle.

Johtopäätöksenä tuotannon muutoksen vaatimukset painottavat työntekijöiden osaamisen tärkeyttä, informaatiovirtojen hallittavuutta, visuaalisuuden parantamista, tuotannonohjauksen kehittämistä ja jatkuvaa kehittymistä. Asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen mallista tulevat korostumaan muutoksen vaatimusten perusteella vastaavasti yllä mainitut kohteet.

## 7.5 Ilmeneviä ongelmia Helsingin tehtaalla

Metson FC:n Helsingin tehtaan tuotevalikoiman muuttuessa vähitellen kohti yhä haastavampia yhdistelmiä, ongelmia ja pullonkauloja on alkanut nousta esiin. Informaatiovirroissa on epäselvyyttä ja virheitä, osaamisessa on puutteita ja tuotannon virtaus ei toimi ihanteellisesti. Lisäksi läpimenoaika-arviot ovat hataria ja uusia ongelmatilanteita ilmenee jatkuvasti.

Tietoa tuotannon ongelmista on kerätty vuoden 2008 aikana epävirallisesti haastatteluina tuotannon työntekijöiltä sekä tuotannon tukihenkilökunnalta.

### Epäselvät informaatiovirrat

Informaatiovirtojen toimimattomuus on aiheuttanut Metson Helsingin toimituskeskuksessa huomattavasti uudelleentekemistä ja epäselvyyksiä vuoden 2008 aikana. Osa tiedosta tulee puremattomana suoraan tuotantoon standardittomassa muodossa ja osa informaatiosta voi olla väärin tai vanhentunutta jo sen saapuessa kokoonpanoon. Usein syynä on, että informaatiojärjestelmä ei tue lisääntyntä tuoteräätälöintiä koskevaa informaatiota. Lisäksi kokoonpanoa koskevaa tietoa löytyy useammista eri paikoista, mikä aiheuttaa ongelmia oikean tiedon löytämiseksi nopeasti. Kokoonpanoon saapuvat informaatiovirrat saattavat käyttää useampia eri reittejä, kuten pääasiallista työkorttia, satunnaisesti käytettävää sähköpostia ja muun muassa serverillä olevia excel-tiedostoja. Useat eri kanavat aiheuttavat ennen kaikkea sekavuutta ja heikentävät informaation pääkanavan luotettavuutta.



## Riittämätön osaaminen ja heikentynyt motivaatio

Harvoin toistuvan työn seurauksena unohdetaan Metson Helsingin toimituskeskuksessa merkittävästi jo opittua. Työn vaativuuden kasvu on nähtävissä tukipyyntöjen lisääntymisenä, perusvirheinä kokoonpanotyössä ja kokoonpanon testisaantojen heikentymisenä. Vaatimustason on kasvamisen seurauksena vuokratyövoimaa ja harjoittelijoita ei voida hyödyntää aikaisempaan malliin kapasiteetin kasvattamiseksi.

Motivaatiota heikentävinä tekijöinä Helsingin toimituskeskuksessa on havaittu komponenttien vaihteleva laatu, epäselvyys informaatiossa, jatkuva uudelleentekeminen ja oman suorituksen näkymättömyys. Motivaation heikentyminen on havaittavissa muun muassa välinpitämättömyytenä komponenttivalmistajien virheiden ilmoittamisesta ja ylipäättänsä kokoonpanosta tulleiden kommenttien perusteella.

## Epäideaaliset materiaaliwirrat ja heikko tuotannon visuaalisuus

Nykyinen Helsingin FC-tuotelinjan layout joutuu palvelemaan tällä hetkellä erilaista tuotantoa, kuin mihin se on alun perin suunniteltu. Työpisteiden lisääntymisen, varaosatoimituksen vaatimien tilojen ja tuotteiden variaatioiden lisääntymisen takia toimituskeskuksen varastot ovat pirstoutuneet eri puolille tuotannon tiloja. Komponenttien löytäminen on alkanut tuottaa ongelmia. Tilausohjautuvien tuotteiden lisääntyminen tuotannossa kasvattaa entisestään varastoitavien komponenttien variaatiota, ja komponenttien löytämisestä tulee entistä vaikeampaa. Lisäksi korkeat varastohyllyt tuotannon keskellä lokeroivat työpisteitä heikentäen ryhmätyötä ja tuotannon visuaalisuutta (Kuva 19 ja Kuva 22).

## Läpimenoaika-arviot hataria

Läpimenoajat kokoonpanotuotannossa vaihtelevat toimituskeskuksessa muutamasta tunnista aina jopa muutamaaan päivään yhdistelmän koosta ja monimutkaisuudesta riippuen. Läpimenoajat ovat hyvin tilauskohtaisia ja korkean variaatiotason takia läpimenoaika-arviot tuotteille ovat hyvin hataria. Tuotannon ennakointi on vaikeaa, kun tulevaa kuormaa on vaikea arvioida.

## Uudet ongelmatilanteet

Metson Helsingin toimituskeskuksessa korkea variaatiotaso ja ainutlaatuiset tuotteet aiheuttavat jatkuvasti uusia virhe- ja ongelmatilanteita. Ongelmatilanteiden lisääntyminen yhdistelmien monimutkaistumisen seurauksena on havaittavissa asentajien tukipyyntöjen lukumäärän kasvuna ja testausjärjestelmän ensisaannoissa. Lisäksi jo ratkaistusta ongelmasta tieto ei aina kantaudu kaikille osapuolille, vaan ongelman kanssa saatetaan painia useampaan kertaan.



## 8 Benchmark-vierailu Rocla Oyj:llä

Yritysvierailu suuntautui Rocla Oyj:n Järvenpään tehtaalle. Järvenpäässä valmistetaan Roclan sähköinen ja automaattinen trukkikalusto. Roclalla huomioidaan lähes kaikissa tuotteissa asiakaskohtaiset tarpeet. Vierailukohteena Rocla oli kiinnostava sekä tuotannon asiakaslähtöisyyden takia samoin kuin jatkuvien tuotannon kehitystoimenpiteiden syystä.

### 8.1 Tuotteet ja tuotantoprosessi

Rocla Oyj valmistaa sähköisiä varastotrukkeja ja automaattitrukkijärjestelmiä. Sähkötoimisia trukkeja löytyy useita eri malleja eri kokoluokissa ja eri käyttötarkoituksia varten. Suurin osa trukeista on ihmisen operoimia, mutta myös automaattitrukkeja valmistetaan enenevässä määrin. Lähes kaikkien trukkien valmistuksessa otetaan huomioon asiakaslähtöisiä tarpeita kuten nostokorkeudet, nostonopeudet ja itse nostimet. Lisäksi asiakkailla on vaikutusmahdollisuuksia trukkien värityksiin ja lisävarusteisiin. Asiakastarpeiden huomioimista pidetään Roclalla elinehtona.

Yritys joutuu kilpailemaan ankarasti olemassaolostaan suurien trukkivalmistajien keskellä. Tästä syystä tuotannon kehitykseen on tuotekehityksen ohella kiinnitetty erityistä huomiota. Roclan mukaan yksi heidän keskeisin osaamisalueensa on tehokas kokoonpano (Jurvelin, 1998). Useiden tuotannonkehityshankkeiden myötä Rocla on saanut tehostettua tuotantoaan niin läpimenoaikojen kuin kapasiteetinkin suhteen.

Tuotteiden komponentit hankitaan alihankkimalla ja kokoonpano tehdään itse. Puomien valmistuksen Rocla on säilyttänyt kuitenkin itsellään. Roclan tuotanto toimii ETO-, MTO- ja ATO-tasoilla. Rocla toimittaa haluttaessa asiakkailleen tilauskohtaisen suunnittelun ja tuoterakenteen vaatimia niin sanottuja ETO-tuotteita. Näitä ovat muun muassa erikoistarttijat ja erikoiset vetovaunut. MTO-tuotteita tuotannosta on yhä enemmän ja enemmän. Näissä tuotteissa asiakas voi määritellä erikseen haluamansa mastojen korkeudet ja erikoispaneloinnit. ATO-tuotteet taas kasataan yleisimmin käytettävistä komponenteista, joiden saatavuus varmistetaan pienillä imuohjautuvilla puskureilla. Näihin lukeutuvat yleisimmät mastokoot ja esikasatut rungot. Tavoitteena on pitää 80 prosenttia myynnistä imuohjautuvissa puskureissa, mikä on yhä hankalampaa MTO-tuotteiden yhä yleistyessä.

Tuotteet kootaan työvaiheiden lukumäärästä riippuen joko lyhyellä tuotantolinjalla tai kokonaan samassa työpisteessä. Pienimmät trukit kootaan yhdessä työpisteessä alusta loppuun ja suuremmat kootaan lyhyillä linjastoilla. Tuotteiden komponentit kerätään aina erikseen jokaista tilausta ja kokoonpanoa varten keräilijöiden toimesta. Työpisteisiin on kerätty vain kaikki tarvittavat työkalut ja pientarvikkeet. Työpisteet on suunniteltu siten, että kaikki on käden ulottuvilla. Joku voisi sanoa, että ne ovat jopa ahtaat. Tuotannon tilat ovat kokonaisuudessaan avarat ja siistit. Kaikille on oma

paikkansa. Siisteyttä on ylläpidetty 5S:n periaatteiden mukaan. Tarkoituksena on jopa maalata lattiaan roskapönttöjen kohdat.

Tuotannon tehokkuutta on tehostettu suoritepalkkauksella, ja useat televisioruudut katossa kertovat tuotannon tilasta koko henkilöstölle. Ruuduista ilmenee muun muassa, miltä osin tuotanto on aikataulussa tai ei ole. Tuotannon kapasiteettia voidaan siirtää työpisteestä toiseen tilauskannan mukaan. Tuotantotiloissa on useampia työpisteitä reservissä tukemassa joustavuutta eri kuormitustilanteita varten. Työntekijöiden monitaitoisuudella on tärkeä osansa tuotannon joustavuudessa.

Asiakaskohtainen informaatio tulee kokoonpanijalle yhdellä keräilijän tulostamalla A4-kokoisella paperiarkilla, johon on hyvin yksinkertaisesti koottu kaikki asiakaskohtainen muuntelu koskien kokoonpantavaa tuotetta. Tällä työkortilla on vain kokoonpanoa koskeva informaatio.

Laadunvarmistus Roclan tuotannossa on toteutettu erillisen tuotetarkastusyksikön avulla. Valmiiksi kokoonpannut tuotteet siirtyvät tarkastukseen eri osastolle ja eri työntekijöille. Kokoonpanon laadun tukena on aina linjakohtainen vastuuhenkilö, joka ottaa huomioon kokoonpanijoiden kehitysehdotukset ja seuraa laadunkehittymistä.

## 8.2 Roclan tuotannon hyviä ominaisuuksia ja haasteita

Roclan tuotannossa on ylimääräisten varastojen poistojen ja osittaiskokoonpanon avulla saavutettu lisää tilaa kokoonpanolle. Vastaavalla tavalla läpimenoaikoja on saatu lyhennettyä. Tuotantotilat ovat hyvässä järjestyksessä ja tuotannon virtaus on tilojen avaruudesta johtuen silminnähävissä. Kokoonpanon laatu on hyvää ja kysynnän mukaan työvoimaa voidaan siirtää sinne, missä sitä eniten tarvitaan. Yksinkertaisesti ja standardoidusti toteutettu informaationvirtaus kokoonpanoon yhden paperiarkin muodossa pitää tuotannon työjärjestyksen selkeänä. Tehokkuuden näkökulmasta suoritepalkkaus sekä tuotannon aktiivinen seuraaminen ja tiedon jakaminen pitävät työntekijöiden motivaation korkealla.

Tuotannon haasteiksi voidaan nähdä kysynnän ja komponenttitarpeiden ennustaminen. Komponenttitarpeiden ennakointi on vaikeaa varsinkin, jos toimitusajat ovat pitkiä, kuten teräsvalujen kohdalla. Tuotantotiloissa jatkuva järjestyksen ja siisteyden ylläpito on ollut haasteellista. 5S:n mukaiset viimeiset pykälät: standardoi (*standardize*) ja ylläpidä (*sustain*), eivät ole helpoimpia asioita omaksua tuotantohenkilökunnan keskuudessa. Tämänhetkinen tuotannon tilojen tiivis layout on myös aiheuttanut purnaamista tuotannon kokoonpanijoiden keskuudessa.

## 8.3 Metsolle oppia Roclalta

Roclan tuotanto on Metso Automationin Flow Control -tuotelinjan tavoin asiakaslähtöistä ja sisältää tuotteiden räätälöintiä. Roclalla räätälöinti on kuitenkin

jokseenkin rajoitetumpaa ja niin sanottuja ETO-tuotteita on vain vähän. Suurin osa tuotteista on ATO-pohjaisia, mutta MTO-tuotteita on yhä enenevässä määrin. Roclan tuotannossa on kuitenkin paljon hyviä piirteitä, joita Metso Automationin FC-tuotelinja voisi hyödyntää omissa toimissaan.

Informaatiovirtaus tuotantoon on selkeää yksisivuisen työkortin muodossa. Työkorttiin on kirjattu vain tarvittavat muutokset tuotteeseen asiakastoiveiden täyttämiseksi. Lisäksi työkortti on pidetty hyvin yksinkertaisena. Vastaavalla tavalla Metsolla tulisi hyödyntää yksinkertaista ja standardoitua informaatiovirtaa kokoonpanotuotantoon. Vain tarvittava tieto esitettäisiin selkeässä muodossa.

Työntekijöiden motivaatiota kohotetaan Roclalla suoritusperusteisella palkalla sekä tuotannon päivittäisen aikataulutuksen ja valmistuman aktiivisena seuraamisena. Tuotannon päivittäinen aikataulutus ja valmistuma ovat kaikkien nähtävissä tuotannon katossa tai seinillä olevilta televisioruuduilta. Lisäksi hyvän laadun takaamiseksi ja työntekijöiden edelleen motivoimiseksi Roclalla on oma tarkastusosastonsa, jonka kautta kaikki valmistuneet tuotteet kulkevat. Metsolla työntekijöiden motivoimiseksi siirtyminen suoraan suoritepalkkaukseen olisi hyvin radikaali muutos. Sen sijaan suoriteperusteisia kannustimia tulisi kuitenkin hyödyntää myös Metsolla esimerkiksi erinäisten pienten palkintojen tai bonusten muodossa. Roclan kaikkien nähtävillä oleva tuotannon aikataulutus ja valmistuman seuranta olisi hyvä ominaisuus myös Metsolla hyödynnettäväksi. Tällä hetkellä aikataulutus on tuotannossa vain muutaman työntekijän tiedossa. Metsolla voisi myös kehittää valmiiden tuotteiden tarkastusta tehokkaammaksi Roclan tapaan. Lopputarkastuksia tulisi lisätä ja ne pitäisi suorittaa jonkun muun kuin itse kokoonpanijan toimesta.

Visuaaliselta ilmeeltään tuotannon tilat Roclalla ovat selkeät ja avarat. Lisäksi jokaisessa työpisteessä on vain tarvittavat työkalut ja kaikelle on oma paikkansa. Roclalla 5S:n periaatteet ovatkin aktiivisessa käytössä. Lisäksi tuotteen kaikki komponentit kerätään valmiiksi sekä lisäksi tarvittavat pientarvikkeet on sijoitettu hyvin lähelle työpistettä. Metsolla tulisi Roclan tapaan avata tuotannon tiloja näköesteistä, kuten korkeista varastohyllyistä ja sermeistä. Kaikkien työkalujen ja komponenttien tarpeet tulisi arvioida 5S:n mukaan. Kokoonpanon vaatimien komponenttien hakemiseen ei saisi juuri kulua aikaa. Tarvittavat pientarvikkeet Metsolla tulisi olla hyvin lähellä työpistettä Roclan tapaan.

## 9 Metson Flow Control -tuotelinjan tuotannon asiakaslähtöisyyden kehittäminen

Kirjallisuus- ja benchmark-tutkimuksen sekä ilmenneiden tuotannon ongelmien pohjalta on tarkoitus esittää Helsingin toimituskeskuksen kokoonpanolle konkreettisia kehityskohteita ja valita näistä viisi tärkeimmäksi havaittua parannusehdotusta.

### 9.1 Flow Control -tuotelinjan kehittäminen asiakaslähtöisen mallin mukaan

Asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen mallin mukaan on tarkoitus arvioida kehityskohteita Helsingin toimituskeskuksen kokoonpanotuotannossa ja esittää niihin konkreettisia parannusehdotuksia.

Kirjallisuuden perusteella asiakaslähtöisen tuotannon kehittämiseksi voitiin määrittää tärkeiksi kehityskohteiksi (luku 6): jatkuva kehittäminen, työvoiman osaaminen ja motivaatio, informaatiovirrat, tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen, läpimeno- ja asetusaikojen leikkaaminen, työkuorman ohjauksen kehittäminen sekä yksinkertaiset ja joustavat laitteistot.

#### 9.1.1 FC-tuotelinjan prosessien jatkuva kehittäminen

Pohjan jatkuvalle kehittämiselle luo **työntekijöiden osallistuminen ja aloitteellisuus**. Jatkuvassa kehittämisessä **prosesseilta vaaditaan systemaattisuutta ja jatkuvaa suorituskymittauksien tekemistä**. Jatkuvan kehittämisen toteuttamiseksi on kehitetty työkaluja, kuten 5S:n periaatteet ja Demingin laatuympyrä.

Tuotannon epäkohtien ilmitulo perustuu Helsingin toimituskeskuksessa tällä hetkellä lähinnä työntekijöiden oma-aloitteisuuteen ja tuotannonkehitysryhmän tekemiin havaintoihin. Jatkuvan kehittymisen tehostamiseksi toimituskeskuksessa asentajien aloitteellisuutta ja osallistumista voitaisiin tukea entistä paremmin tuotannon heikkojen kohtien löytämiseksi. Tähän voisi käyttää aktiivisuuteen perustuvaa ja vain tuotantoa koskevaa muun muassa Roclalla ja Valtralla käytössä olevaa aloite- ja kehitystietokantaa. Kehitystietokanta perustuisi nopeaan vasteeseen ilman organisaationlaajuista käsittelyprosessia.

Toimituskeskuksessa työntekijöitä kannustetaan itsenäiseen ongelmanratkaisuun, mutta osaamisen puutteen tai epäselvyyksien takia useimmiten ongelmatapauksissa tarvitaan kuitenkin tuotannon tukihenkilöstön tai vähintään kokeneimpien työntekijöiden tukea. Operaattoreiden itsenäistä ongelmanratkaisukykyä tulisi edelleen tukea ja kehittää kouluttamalla. Ongelmanratkaisun avuksi tulisi kehittää yleisimpien ongelmien pohjalta ongelmanratkaisuohteistus. Lisäksi jo ratkaistuista

ongelmista tulisi kerätä päivittäistä aktiivista tietokantaa, joka olisi kaikkien asentajien helposti saatavilla. Näin estettäisiin ongelmien uudelleen käsittely.

Tehtaan lattiatasolla ei ole aktiivisessa käytössä 5S:n kaltaisia työnormeja. Työpisteiden siisteyttä ja järjestystä pidetään kuitenkin tärkeänä jo pelkästään tehdastutustumiskäyntien takia. Työpisteet ovatkin useimmiten siistissä kunnossa. Yleistä siisteyttä ja järjestystä voitaisiin kuitenkin edelleen parantaa ottamalla käyttöön 5S:n periaatteet ja järjestää työpisteet sen mukaisiksi. Samalla päästäisiin eroon turhista työvälineistä, lapuista ja muusta tarpeettomasta. Lisäksi kaikelle olisi aina oma paikkansa.

Myöskään tarkkaa ohjeistusta työn suorittamiseksi ei tuotteiden korkean variaatiotason takia ole mahdollista tehdä, ja siten ohjeistusta tuotteiden kokoamiseen löytyy vähän sieltä ja täältä. Lean-tuotannonmallin tapaan työnormiston luominen ja seuraaminen olisi siis hyvin työlästä. Kuitenkin perusohjeistus ja menettelytavat pääkomponenttien liittämiseksi sekä virittämiseksi tulisi olla hyvin koottuna ja helposti saatavilla. Ohjeistus loisi yhteneväisen pohjan jokaiselle työvaiheelle. Tuotteiden pääkomponenttien rajapinnat ja virittäminen ovat tuotteen räätälöinnistä huolimatta standardinomaisia.

Tärkeimmät toimet jatkuvan kehittämisen tehostamiseksi ovat **työpisteiden ja tuotannon tilojen siistiminen 5S:n mukaan, kunnollinen työn perusohjeistus, ratkaistujen ongelmien tietokanta** ja tärkeimpänä työntekijöiden oma-aloitteisuuden sekä osallistumisen tukeminen **nopeavasteisen aloite- ja kehitystietokannan** avulla.

### 9.1.2 FC-tuotelinjan työntekijöiden osaamisen ja motivaation kehittäminen

Joustavan tuotannon olennainen mahdollistaja on työntekijöiden osaaminen ja monitaitoisuus sekä korkea motivaatiotaso ja sitoutuneisuus. Työntekijät ovat tärkeä osa asiakaslähtöisen tuotannon pääomaa.

#### Osaamisen kehittäminen

Työntekijöiden **jatkuva kouluttaminen** on tärkeää työntekijöiden osaamisen kartuttamiseksi. **Tiimityöskentely** parantaa yleistä osaamista, kun ongelmat voi jakaa muiden kanssa. **Solutuotannon ja ryhmäteknologian avulla** voidaan määrätty osaaminen rajoittaa määrätylelle ryhmälle. Lisäksi **informaatiovirtojen ja -tekniikan tulee tukea** kokoonpanijaa oman osaamisen loppuessa.

Toimituskeskuksessa työntekijöiden osaamista kehitetään satunnaisia koulutuksia järjestämällä. Työntekijöiden osaamista pyritään seuraamaan osaamistasoilla, jotka kuitenkin eivät enää ole täysin ajan tasalla. Vaativammat työt pyritään aina ohjaamaan soluihin, joissa on kokeneempia työntekijöitä. Kuormatilanteen mukaan työntekijöitä lisäkoulutetaan vaativampien yhdistelmien kokoamiseen ristiinkouluttamalla. Kaikkia uusia komponentteja varten ei aina osata varautua etukäteen koulutuksilla ja näin kokoonpanoon voidaan vapauttaa tilauksia, joiden

komponenteista tai ratkaisuksista ei ole riittävästi tietoa ja osaamista itse tuotannossa. Helsingin toimituskeskuksen tulisi toimintojensa kehittämiseksi varmistaa riittävä koulutus kaikille kokoonpanijoille ja seurata yksilöllistä osaamisen kehittymistä nykyistä tarkemmin osaamistasoilla, vaikka muun muassa testeillä ja kokeilla. Kokemuksen ja koulutusten myötä työntekijät siirtyisivät osaamistasolta aina seuraavalle. Tilauskantaa paremmin seuraamalla olisi mahdollista järjestää täsmäkoulutuksia kokoonpanoryhmille jo etukäteen ja varautua osaamiselta vaadittavaan tasoon. Osaamiselta vaadittavan korkean tason takia samantyyppisiä työkuormia tulisi keskittää ennalta valittuihin, nykyistä pienempiin solukokonaisuuksiin, jotta toistuvuudesta saataisiin kaikki hyöty irti.

Osaamisen tukena Helsingin toimituskeskuksessa on ryhmä kokeneita kokoonpanijoita (*advanced users*), joiden on määrä auttaa muita ongelmatilanteissa. Oman osaamisen loppuessa osataan myös viereisestä työpisteestä pyytää apua. Lokeroidut solut eivät kuitenkaan tue ja kannusta yhteistyöhön, vaan usein ongelmia saatetaan pohtia pitkäänkin omassa työpisteessä ennen avun pyytämistä. Toimituskeskuksen tulisi rohkaista enemmän tiimityöskentelyyn ja järjestää tuotannon layout tukemaan ryhmätyötä. Ryhmätyö edesauttaa osaamisen jakamista työntekijöiden kesken sekä ryhmällä on aina laajempi osaaminen hyödynnettävissä kuin yhdellä yksilöllä.

Lisäksi osaamisen tukena ja muistin virkistämiseksi Metsolla on olemassa ohjeistus ja laaditut menettelytavat. Työohjeistus on kuitenkin osan työntekijöistä mielestä hankalaselkoista ja vaikeasti löydettävissä. Työntekijät tekevätkin mieluummin töitä oman muistinsa varassa ja näin muun muassa laatuvirheitä pääsee syntymään. Ohjeistusta Helsingin toimituskeskuksessa tulisikin tarkastuttaa kokoonpanijoiden keskuudessa ja päivittää tarpeen mukaan. Lisäksi ohjeistuksen tulisi olla helpommin saatavilla. Oikean ohjeistuksen esittämiseksi voitaisiin hyödyntää ohjelmistoa, joka etsisi vain tarvittavat ohjeet valmiiksi näytölle tuotteen kasaamiseksi.

Tärkeimmät osaamisen kehittämisen toimet ovat: **riittävä koulutus kaikille, ennakoiva lisäkouluttaminen, ryhmätyön tukeminen sekä osaamista tukeva ohjeistus ja proseduurit.**

## Motivaation kehittäminen

Motivaation kohottamiseksi tärkeää on luoda kokoonpanijoille **kokonaisia työkokonaisuuksia ja tasata työkuormat. Ryhmätyöskentelyn ja osallistuminen tuotannon kehittämiseen ja suunnitteluun** nähdään lisäävän työntekijöiden motivaatiota. Lisäksi tiimejä ja yksiköitä tulisi **palkita osaamiseen ja taitoihin perustuen** matalakustanteisilla palkinnoilla.

Motivaation säilyttämisen vuoksi kokonaiset työkokonaisuudet tulee pitää ennallaan. Työkuormat tulisi kuitenkin tasata mahdollisimman hyvin kaikkien työntekijöiden kesken, ja itse työskentelyssä tulisi hyödyntää enemmän ryhmätyötä. Työkuormien tasoittaminen vaatisi muun muassa tarkempaa tuotannonohjausta.

Osallistumisen tunnetta voisi lisätä tuotannossa tuomalla tuotantosuunnitelma kaikkien nähtäville. Suunnitelman perusteella kokoonpanijan olisi mahdollista

seurata valmistumaa ja päivittäisiä tavoitetta sekä sovittaa työrytmi suunnitelman mukaiseksi. Kehitysprojekteissa tulisi myös hyödyntää nykyistä yhä enemmän tehtaan lattiataason näkemystä, mikä kohentaisi osallistumisen ja sitoutuneisuuden tunnetta työntekijöiden keskuudessa.

Taitoihin tai osaamiseen pohjautuvia palkitsemiskäytäntöjä tehtaalla ei oikein ole; kokoonpanijoiden hyviä suorituksia ei tehtaalla erikseen palkita. Työntekijöitä voitaisiin kannustaa ja motivoida palkitsemalla työryhmiä tai yksilöitä hyvistä suorituksista matalakustanteisilla palkinnoilla.

Tärkeimmät motivaatiota tukevat kehityskohteet ovat: **työkuormien tasoittaminen, oman panoksen näkyminen tuotannossa, palkitsemiskäytännöt ja ryhmätyöskentely.**

### 9.1.3 FC-tuotelinjan tehtaan lattiataason ohjauksen yksinkertaistaminen

Tuotannon lattiataason ohjausta voitaisiin yksinkertaistaa **jakamalla tuotanto soluihin** ja suunnittelemalla **tuotannon rakenne moduulimaiseksi**. Tuotannon visuaalisuutta voidaan lisäksi parantaa **yksinkertaistamalla varastojärjestelmiä ja poistamalla näköesteitä**. Raakamateriaalin, komponenttien ja työkalujen **siirtoetäisyyksiä tulisi lyhentää ja vähentää trukkiliikuttelua**. Teknologiaa hyödyntämällä **tuotannon materiaalivirtoja** voitaisiin **automatisoida** ja vähentää samalla materiaalin ylimääräistä liikuttelua.

### Helsingin toimituskeskuksen layout perustuen aikaisempaan tuotetarjontaan

Tuotannon tämänhetkinen layout perustuu vuonna 2000 tehtyyn diplomityöhön (Hirsto, 2000), jota on sittemmin hiukan muunneltu ja kasvatettu kapasiteettitarpeen mukaan. Vuonna 2005 tehtiin myös toinen layoutia koskeva diplomityö, jossa materiaalivirtoja pyrittiin parantamaan entisestään (Lahtinen, 2005).

Alkuperäinen suunnitelma pohjautui tukemaan kahta eri liiketoimintayksikköä, paperi ja sellu (Pulp & Paper) -yksikköä ja prosessi ja energia (Process & Energy) -yksikköä. Näiden yksiköiden tuotteet poikkeavat vaatimustasoltaan toisistaan. Ensimmäisen eli sellu- ja paperipuolen tuotteet perustuvat määrättyihin komponentteihin, ja tämä mahdollistaa niiden linjamuotoisen valmistamisen. Yksikön tuotteet ovat nopeita koota ja vaikeustasoltaan helpohkoja. Prosessi- ja energiapuolen tuotteet ovat vaativia erikoistuotteita, jotka ovat lähes aina tilauskohtaisia. Näiden kokoonpanoaika on pidempi ja tilauksia saatetaan muuttaa vielä ennen kuin tuotteet ovat tuotannossa. Vaativien tuotteiden valmistaminen vaatii jatkuvaa kehittämistä, ja siksi niiden valmistaminen soluissa on nähty olennaiseksi. Molempien toimintayksiköiden tuotteet sisältävät paljon yhteisiä osia ja niiden kuormat vaihtelevat suuresti viikosta toiseen. Layoutissa on haluttu huomioida myös päivittäis- ja projektikaupan erilaisia vaatimuksia. (Hirsto, 2000)

Solut on päätetty järjestää toimilaitteeseen mukaan, jolloin samoissa soluissa on työn alla molempien liiketoimintayksiköiden tuotteita samanaikaisesti. Henkilöstön joustavuuden kannalta on nähty riskinä työtaidon jakautuminen, mikäli tuotteet



tuotettaisiin erilisillä linjoilla. Varastot on päätetty sijoittaa solujen läheisyyteen, jotta työpisteiden tarvitsemia pääkomponentteja (toimilaitteita, venttiileitä) olisi lähellä työpisteitä. Näitä varastoja on käytetty päivittäiskaupan tilauksien valmistamiseksi, jolloin yhdistelmien komponentit eivät ole voineet olla tilausohjautuvia vaan niin sanottua varastotavaraa. Lopullisen layoutin muodostumiseen ovat vaikuttaneet voimakkaasti sen aikaiset materiaalivirrat. (Hirsto, 2000.)

Vuoden 2005 diplomityössä toimituskeskuksen layoutiin otettiin kantaa, mutta peruslinjaukset pysyivät entisellään (Lahtinen, 2005). Tämän jälkeen layout on muuttunut kapasiteetin voimakkaan kasvun myötä, ja työpisteitä on lisätty erityisesti hankaliin yhdistelmiin keskittyneisiin soluihin.

Nykyinen Helsingin FC-tuotelinjan layout joutuu palvelemaan tällä hetkellä (2009) erilaista tuotantoa kuin mihin se on alun perin suunniteltu. Seuraavat kappaleet tulevat osoittamaan, että kehittämistarpeita on sekä solujen että koko tuotannon layoutissa.

### Työpisteiden ja solujen visualisuuden kehittäminen

Työpisteiden rinnakkaistaminen on mahdollistanut hyvin joustavan tuotannon. Ongelmat yhdessä pisteessä eivät aiheuta muiden pisteiden työn hidastumista, kuten jaksottaisessa kokoonpanossa. Työpisteet on suunniteltu hyvin itsenäisiksi ja niitä on eroteltu muun muassa sermeillä ja hyllyillä toisistaan. Tehtaanlattialla työpisteet ovat jakautuneet pääasiallisesti soluihin toimilaitetekoihin perustuen. Soluissa työpisteiden lukumäärä on kohtuullisen suuri. Soluissa on jopa 16 työpistettä. Erityisesti tuotannon vanhimmat pisteet ovat hyvin lokeroituneita varastohyllyjen keskelle (Kuva 19). Lokeroituneet työpisteet eivät tue ryhmätyötä eivätkä toteuta hyvää visuaalisuutta.



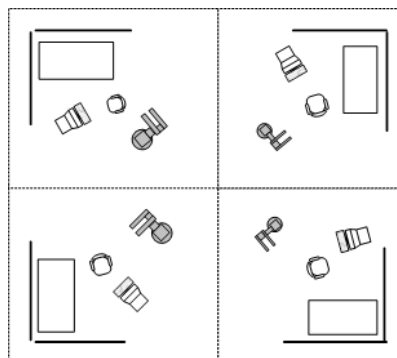
**Kuva 19. HSC: n työpisteet pohjautuen 2000-luvun layoutiin varastohyllyjen keskellä (Metso Automation, 2008.)**

Helsingin toimituskeskuksen työpisteitä tulisi kehittää moduulimaisemmiksi ja helpommin muunneltaviksi. Lisäksi työpisteiden tulisi tukea ryhmätyötä nykyistä paremmin näköesteitä poistamalla. Visuaalisuuden parantaminen työpisteissä avaisi



kokonaisuudessa tuotannon tiloja. Keskittämällä työpisteitä pienemmiksi solumaisiksi ryhmiksi, ryhmätyö korostuisi entisestään. Lisäksi työpisteiden keskittäminen pienempiin tuotannon yksiköihin tarkentaisi tuotannonohjausta.

Kuvassa 20 on esitetty yhteistyötä tukeva soluehdotus, joka koostuisi neljästä rinnakkaisesta työpisteestä. Jokaisessa työpisteessä kootaan tuote alusta loppuun, ja siten ne sisältävät kaikki työkalut täydellisen kokoonpanon suorittamiseksi. Solu sisältää erikokoisia kiinnityspukkeja, jotta yhden solun sisällä on mahdollista valmistaa laaja skaala erikokoisia tuotteita. Työsolu on hyvin avoin ja tukee yhteistyötä. Solussa voisi työskennellä eri osaamistason omaavia henkilöitä, koska ryhmätyötuki löytyisi aina oman solun sisältä. Solun sisällä olisi lisäksi mahdollista opastaa ja valvoa harjoittelijoita, ilman että opastajien työ keskeytyisi täysin.



**Kuva 20. Solumalli, joka tukisi ryhmätyötä ja erikokoisien yhdistelmien kokoamista.**

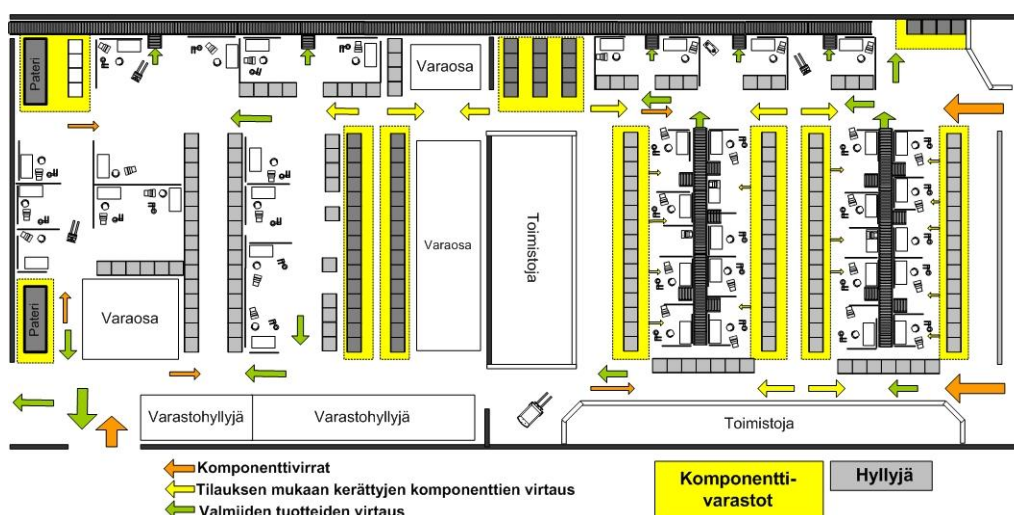
Uusimmat vuoden 2008 aikana toimituskeskukselle valmistuneet työpisteet edustavat jo hyvin moduulimaisia ja yleiskäyttöisiä yksiköitä (Kuva 21). Myös vanhat työpisteet tulisi päivittää vastaavanlaisiksi. Kuitenkin työpisteiden keskinäiseen sijoitteluun tulisi kiinnittää vielä enemmän huomiota ja ne olisi hyvä edellä mainitun mukaisesti sijoittaa tiiviimmin yhteistyötä tukeviin solumaisiin ryhmiin.



**Kuva 21. Helsingin toimituskeskuksen uudet työpisteet vuodelta 2008 edustavat jo modernimpaa näkemystä avaruuden ja visuaalisuuden nimissä.**

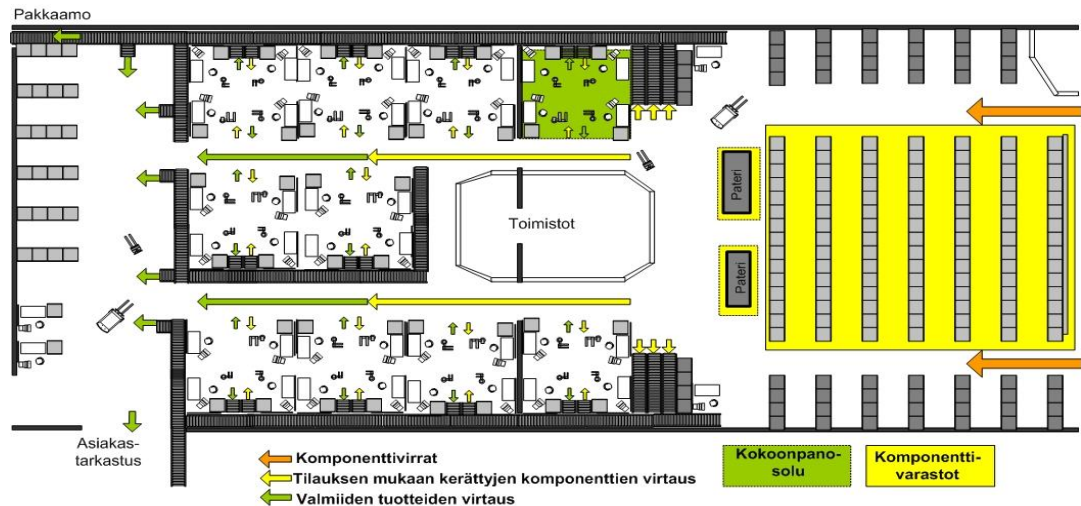
## Tuotannon layout ja materiaalin virtaus

Tuotannon layout on kärsinyt tilan ahtauden takia kapasiteetin kasvattamisen pakottamista kompromisseista, eikä se toteuta enää ihanteellista materiaalien virtausta. Materiaalin virtauksen epäjohtonmukaisuutta on esitetty kuvassa 22. Eriväriset nuolet kertovat materiaalivirtojen suuntia. Komponentteja syötetään tuotantoon komponenttitehtaiden suunnasta (kuvan oikeasta laidasta), ja ulkoisten toimittajien komponentit saapuvat tuotantoon kuvan vasemmasta alalaidasta. Valmiiden tuotteiden liikenne suuntautuu kuvassa oikealta vasemmalle. Yhdistelmien ja niiden komponenttien liikuttelu tapahtuu työpisteiden välillä pääasiassa lavojen avulla. Suurimpien yhdistelmien liikuttelu yritetään pitää mahdollisimman vähäisenä, ja siksi niiden pakkauskin tehdään paikan päällä. Tuotteiden liikutteluun käytetään nostureita, trukkeja ja pumppukärkyjä melkein joka pisteellä.



**Kuva 22. Esitettyä on HSC: n loppukokoonpanon nykyinen layout: tuotannon tilat ovat sijoittuneina komponenttivarastojen keskelle (joulukuu 2008).**

Helsingin toimituskeskuksessa visuaalisuutta voitaisiin parantaa poistamalla näköesteitä kokoonpanotiloista muun muassa varastohyllyjä ja sermejä. Varastot tulisi keskittää yhteen paikkaan erilleen tuotannosta, keräilyä yksinkertaistamiseksi ja trukki liikenteen hillitsemiseksi. Komponenttien löytämiseksi varastojen tulisi olla selkeästi merkittyinä. Kokoonpanon selkeyttämiseksi keräilyssä tulisi kerätä kaikki tuotteen suuremmat komponentit. Pientarvikkeet tulisi sijoittaa työpisteelle, ja niiden täydennys tulisi tehdä keskitetystä varastosta kuten Roclan kokoonpanopisteissä. Materiaalivirtojen yksinkertaistamiseksi ja automatisoinniksi rullaratoja kannattaisi hyödyntää tuotannon tiloissa paremmin. Valmiiksi kerätyt työt voisi kuljettaa työpisteille rullaratoja pitkin. Samalla saataisiin vähennettyä trukki liikennettä entisestään. Toimituskeskuksen materiaali virrat tulisi logistisesti suunnitella kulkemaan vain yhteen suuntaan tuotannon virran mukaan ja välttää risteäviä kohtia.



**Kuva 23. HSC-layoutmalli suunnitelma, jossa tuotannon virtaus on selkeä. Lisäksi tuotanto ja varastot ovat erotettuina toisistaan.**

Kuvassa 23 on esitetty mallia antava layout-suunnitelma. Suunnitelmassa materiaalivirrat ovat samaan suuntaan ja tuotannon virtaus on selkeä. Kokoonpanopisteet ja komponenttivarastot on erotettu toisistaan visualisisuuden parantamiseksi. Lisäksi trukkilikenteen vähentämiseksi hyödynnetään mahdollisimman paljon rullaratoja. Kokoonpanosolut toteuttavat moduulimaista rakennetta sisältäen aina neljä työpistettä. Toimistot on lisäksi asetettu keskelle tuotannon tiloja, jolloin työtä voidaan valvoa ja seurata tehokkaammin.

Tärkeimmät tuotannonohjauksen yksinkertaistamisen kehityskohteet ovat: **työpisteiden avaaminen ryhmätyötä tukeviksi soluiksi, moduulimaisuuden hyödyntäminen suunnittelussa, tuotannon ja varastojen eriyttäminen sekä tuotannon virtauksen selkeyttäminen.**

#### 9.1.4 FC-tuotelinjan informaatiovirtojen kehittäminen

Informaatiovirtojen kehittäminen vaatii systemaattisuutta ja tiedon läpinäkyvyyden parantamista läpi koko prosessin, mitä muun muassa toiminnanohjausjärjestelmät (ERP) tavoittelevat. Informaation jakamista koskevat seuraavat periaatteet:

- **informaation oikeellisuus**
- **informaation tulkittavuuden yksiselitteisyys**
- **katkeamaton informaatioketju**
- **standardoidut valintavaihtoehdot**
- **päivitetty tuotekonfiguraattori**

Työkortin välittämän informaation määrä on kasvanut yhdistelmien vaatimusten ja räätälöintitarpeen kasvamisen seurauksena. Asiakasvaatimukset on lisätty työkortin vapaasti kirjoitettavaan kenttään vaatimusten epäselvyyden tai puuttuvien standardien kenttien johdosta. Seurauksena viestin muoto ja tulkittavuus vaihtelee

tilauskäsittelijästä riippuen. Lisäksi työkortin vapaa tekstikenttä sisältää koko toimitusketjua koskevaa tietoa eikä pelkästään kokoonpanolle tarkoitettua informaatiota. Lisääntyneet vaatimukset näkyvät myös vapaan tekstikentän pidentymisenä, ja kentästä voi helposti jäädä huomaamatta olennaista tietoa. Osa työkortin kautta esitetyistä vaatimuksista tulee työkortin myötä kokoonpanoon liian myöhään. Näihin ei ehditä enää reagoida kokoonpanovaiheessa. Esimerkiksi vaatimuksena on ollut joitakin erillisen tilauksen vaatimia erikoiskomponentteja. Tuotantoa ovat sotkeneet myös työkorttien virheelliset tiedot, jotka tulevat tilausjärjestelmästä. Paperisen ja automaattisesti tulostuvan työkortin päivittäminen ja pitäminen ajantasaisena on vaikeaa, mikäli tilaukseen tulee muutoksia tilauksen ollessa jo toimituskeskuksessa. Tästä syystä joidenkin projektin kohdalla on jouduttu käyttämään serverillä sähköisessä muodossa olevia Excel-taulukoita. Osa tuotannon kokoonpanoa koskevaa tietoa on tullut myös sähköpostin välityksellä.

Tilausta koskevan tiedon tulisi olla hyvin standardoitua ja tulla vain yhdestä kanavasta, jotta epäselvyyksiltä välttyttäisiin. Kokoonpanoa ohjaavalla työkortilla tulisi olla vain kokoonpanoa koskeva tieto ilman vapaita kommenttikenttiä, jotta tieto olisi yksiselitteistä. Työkortin tiedot tulisi informaatiotekniikan avulla pystyä pitämään aina ajan tasalla ja virheettöminä, kun yhdistelmä menee työlle. Tilausten läpinäkyvyyden parantaminen ERP-järjestelmän avulla tehostaisi ja parantaisi informaatioprosessia merkittävästi: kaikilla olisi nähtävissä samat tiedot tilauksesta lähtien läpi koko prosessin.

Itse kokoonpanoprosessia koskeva tieto pitäisi saada rajattua tilauskohtaiseksi, jotta vain tarvittava tieto olisi esillä tuotteen valmistamiseksi. Tiedon esittämisen ja rajaamisen tulisi koskea niin asiakasvaatimuksia kuin itse komponentteja ja kokoonpanoa koskevaa informaatiota. Tietoa olisi mahdollista rajata hyödyntämällä ohjelmistoa, joka etsii tietokannoista ja ohjeistuksista vain valmistettavan tuotteen komponentteja ja niiden rajapintoja koskevat tiedot.

Tiedon jakamiseksi tuotannon sisäistä tiedonvirtausta tulisi parantaa. Visuaalisuutta parantamalla on mahdollista kehittää työpisteiden välistä kommunikointia. Lisäksi informaatiotekniikka mahdollistaa aktiivisten tietokantojen luomisen. Näitä hyödyntäen kaikkien on mahdollista päästä käsiksi viimeaikaisiin tuotantoprosessia koskeviin huomioihin ja neuvoihin.

Tärkeimmät informaatiovirtojen kehityskohteet korostavat: **tilauksien läpinäkyvyyden parantaminen** muun muassa **toiminnanohjausjärjestelmän avulla, kokoonpanoon vaadittavan tiedon standardoimista ja rajaamista sekä tuotannon sisäisen tiedonvirtauksen parantamista visuaalisuuden kautta.**

### 9.1.5 FC-tuotelinjan työkuorman ohjaus, aikataulutus ja läpimenoaikojen leikkaaminen

Asiakaslähtöisen tuotannon on olennaista **tarkkailla läpimenoaikoja** ja pyrkiä niiden **minimoimiseen**. Lisäksi joustavat tuotantoratkaisut vaativat usein **tuotannonohjauksen kehittämistä visuaalisuuden ja työkuormanohjauksen pohjalta.**

## Tilauksien vapautus tuotantoon ja tuotannonohjaus

Helsingin toimituskeskuksessa tilaukset ohjautuvat tuotantoon tuotannonohjausjärjestelmän (MRP) kautta. Ohjelma laskee luvatusa toimituspäivämäärästä taaksepäin komponenttitehtaille komponenttien valmistusaikataulun. Aikataulu määrittää tuotteelle esiasetettujen läpimenoaikojen perusteella. Toimituspäivän lähestyessä ohjelma alkaa tarkkailla tuotteen komponenttien valmistumista, ja kun kaikki komponentit ovat saatavilla, työ vapautetaan automaattisesti toimituskeskuksen tuotantoon työkortin tulostumisen muodossa. Työkortin poimivat kerääjät, jotka prioriteettijärjestyksessä alkavat kerätä yhdistelmiä työpisteille. Tämän vuoden puolella toimituskeskus on lisäksi saanut tuotannosuunnittelijan, joka suunnittelee päivän tuotannon vapautuneiden töiden perusteella ja ohjaa keräilijöille tuotteiden valmistusjärjestyksen.

Tuotannosuunnittelija ohjaa tuotantoa keräilijöidensä kautta. Työt jaetaan toimilaitetekojen, priorisointisääntöjen ja toimitusaikojen perusteella soluihin. Tuotannonohjaus perustuu pitkälti työkuormapohjaiseen ohjaukseen. Ohjaus ei kuitenkaan ole kovin tarkkaa solujen kohtuullisen suurista koista johtuen. Tulevan kuorman kapasiteettivaatimukset ovat hyvin epävarmoja ja läpimenoaika-arviot vaihtelevat. Tuotannonohjauksessa ei juuri hyödynnetä visuaalisuutta, ja tuotantosuunnitelma onkin tehtaan lattiatasolla vain muutaman tiedossa.

FC-tuotelinjan tuotannonohjausta voitaisiin kehittää ohjaamalla työkuormaa pienempiin solumaisiin työryhmiin. Solut perustuisivat joko tuotteen ominaisuuksiin tai toimitusprojekteihin. FC-tuotelinjan tuotteita on kuitenkin vaikea erotella korkean komponenttivarioriaation takia suoranaisiin tuoteperheisiin, mutta toimitusprojektiakohtaisesti keskittäminen on mahdollista. Toimitusprojekteissa usein on samankaltaisia yhdistelmiä, ja asiakasvaatimukset ovat samat toimitusprojektin sisällä. Näin myös tietoa ja osaamista saataisiin keskitettyä paremmin ja tarvittavaa tiedon määrää rajoitettua. Pienempien tuotantosolujen avulla tuotannon seuraaminen olisi tarkempaa, ja tuotannon kyvyt tulisivat paremmin esille. Tuotannonohjauksen visuaalisuutta voitaisiin lisätä tuomalla päivittäinen tuotantosuunnitelma kaikkien nähtäville joko sähköisessä tai paperisessa muodossa. Tämä takaisi, että kaikki työskentelisivät samojen tavoitteiden mukaisesti.

Tärkeimmät tuotannonohjauksen kehityskohteet ovat: **tuotannonohjauksen tarkentaminen pienempiin solukokonaisuuksiin** sekä **tuotannonohjauksen visuaalisuuden parantaminen päivittäisten tavoitteiden ja valmistuman kautta**.

## Kokoonpanotuotannon läpimenoajat ja niiden minimointi

Tilaukskannan etukäteistutkimusta tulevasta kuormasta täytyy pystyä tekemään nykyistä tehokkaammin. Tulevan kuorman ennakoiminen vaatii läpimenoaikojen tarkkaa tuntemusta. Lisäksi läpimenoaikojen perusteella on mahdollista havaita tuotannon heikkouksia jatkuvan kehittämisen nimissä. Helsingin toimituskeskuksessa tulisi ottaa läpimenoajat suurennuslasin alle. Erityyppisten konfiguraatioiden vaikutuksia läpimenoaikoihin tulisi seurata tarkasti. Läpimenoaika-arviot voisivat perustua



esimerkiksi tuotteiden instrumentoinnin lukumäärään, yhdistelmän kokoon ja erikoiskomponentteihin. Tuntemalla yhdistelmätyyppien ja komponenttien perusteella läpimenoaikoja tuotannon pääsuunnittelu voitaisiin tehdä tehokkaammin. Tunnistamalla vaikeat yhdistelmät etukäteen voidaan niiden vaatimuksiin varautua sekä muun muassa työntekijöille voidaan järjestää etukäteiskoulutusta ja keskittää tilauksia kokeneimmille tai erikoistuneille asentajille. Työvaiheiden tarkempi raportointi mahdollistaisi läpimenoaikojen tiukan seurannan.

Läpimenoaikojen lyhentämiseksi suurimmat vaikutukset saataisiin aikaan yhdistelmän kokoamisprosessia kehittämällä. Paljon aikaa nykyään tuhlaantuu työpisteellä tuotteen suunnitteluun sen viimeistelemiseksi. Tuotteen kaikki pääkomponentit tulisi olla mahdollisimman pitkälle esikasattuja haastava instrumentointi mukaan lukien. Erikoisempien yhdistelmien suunnittelun ja kokoonpano-ohjeistuksen tulisi olla täydellistä ja yksityiskohtaista. Loppukokoonpanopisteellä ei suunnittelulle ole enää varaa. Lisäksi ehdoton vaatimus kokoonpanotuotannon lyhyille läpimenoajoille on komponenttien laatu. Komponenttien sovittamista ja viilaamista ei kokoonpanopisteillä tulisi enää tehdä. Loppukokoonpanossa tuotteen jalostusarvo on korkeimmillaan, ja huonolle laadulle tai ylimääräiselle suunnittelulle ei jää sijaa.

Komponenttien ja yhdistelmien ylimääräinen liikuttelu käsipelin tuotannossa jättää kehittämislle varaa ja tuotteiden läpimenoaikoja olisikin mahdollista lyhentää automatisoimalla valmiiden tuotteiden ja valmiiksi kerättyjen komponenttien liikuttelua. Tämä voitaisiin toteuttaa muun muassa rullaratojen tehokkaalla hyödyntämisellä.

**Läpimenoaikojen tarkempi seuranta tuotteiden koon, komponenttien ja instrumentoinnin perusteella on** tärkeää läpimenoaikoihin liittyvässä kehittämisessä. Läpimenoaikojen lyhentämiseksi kokoonpanoprosessissa on vielä paljon turhaa tekemistä, jota poistamalla kokoonpanon läpimenoajat lyhenevät, kuten lean- ja agile-tuotantomallit neuvovat.

#### 9.1.6 FC-tuotelinjan aloitus- ja asetusajojen leikkaaminen

Asetus- ja aloitusaikoja on mahdollista leikata **lisäämällä yleiskäyttöisien ja standardien osien osuutta** tuotannossa. **Työkalujen sijoittelulla ja sovitteita** kehittämällä on mahdollista lyhentää kokoamisprosessia. Lisäksi oikealla **huoltopolitiikalla** voidaan maksimoida koneiden käyttöajat.

Helsingin toimituskeskuksen kokoonpanopisteissä kootaan koko lopputuote alusta loppuun. Työ on manuaalista kokoonpanoa yhdistelmien variaatiosta, usein suuresta koosta ja tuotteen rakenteellisesta monimutkaisuudesta johtuen. Pääkomponenteista kiinnitetään ensin toimituskeskuksen työpisteistä löytyviin erikokoisiin pukkeihin. Toimilaitteeseen kiinnitetään muut pääkomponentit, kuten asennoitin ja venttiili, liitososien avulla. Kokoonpanoprosessin lopuksi yhdistelmään lisätään vaadittava instrumentointi putkituksineen. Suurimmat yhdistelmät joudutaan kokoamaan ilman pukkeja nosturien ja liinojen avulla. Täydellisen kokoamisen takia työpiste sisältää kaikki työvälineet jokaiseen työvaiheeseen. Työvälineet ovat seinällä järjestyksessä merkityillä paikoillaan.

Kokoonpanon lisäksi pisteen tehtäviin kuuluvat yhdistelmän virittäminen ja testaaminen sekä tarkastaminen. Viritys- ja testausvaiheessa tuotteen komponenttien tiedot tallennetaan tietokantaan, ja testaus konfiguroidaan yhdistelmän mukaiseksi. Komponenttien tiedot luetaan komponenttien tyyppikilvistä viivakoodilla, ja testaus konfiguroidaan käsin valitsemalla oikeat tiedot valikoista. Tietokone suorittaa testauksen automaattisesti kriteereitä vasten ja ilmoittaa, mikäli joku testeistä ei mene läpi. Erikoisimmille yhdistelmille joudutaan tekemään aina joitain erikoistestausjärjestelyitä kuten esimerkiksi vieraiden asennoittimien kanssa. Asetusaikojen lyhyinä pitämiseksi työkaluille työpisteillä on määrätty paikat ja joitain pientarvikkeita on työpisteen läheisyydessä. Työpisteillä pientarvikkeiden varastointi on kuitenkin hyvin asentajakohtaista. Tuotteen monimutkaisen rakenteen ja hankalan käsiteltävyyden takia yhdistelmän turhaa siirtelyä kokoonpano- ja testausvaiheessa vältetään. Syystä yhdistelmä kasataankin ja testataan samassa pukissa alusta loppuun. Viivakoodeja ja komponenttitietojen hakemista suoraan tietokannoista hyödynnetään testausvalintojen asettamiseksi.

Asetusaikojen lyhentämiseksi kattavien pientarvikekäyttövarastojen liittämistä työpisteiden läheisyyteen tulisi harkita vakavasti – sillä pääsisi eroon tarvikkeiden etsimisestä ja pitkistä siirtoetäisyyksistä. Roclalla työpisteiden läheisyydessä ovat kaikki yleisimmin tarvittavat pientarvikkeet. Komponenttien ja testauksen tietojen asetusaikojen lisäksi mahdollista lyhentää automaattisesti hakemalla kaikki vaadittava tieto tuotannonohjausjärjestelmästä tai etäluettavista komponenttikilvistä. Näin asentajan tehtäväksi jäisi vain tiedon tarkastaminen, ei sen asettamista ja etsimistä.

Tärkeimmät asetusaikojen koskevat kehityskohteet ovat: **pientarvikevarastojen sijoituksissa ja testien automaattisessa konfiguroinnissa.**

### 9.1.7 FC-tuotelinjan laitteistojen kehittäminen

Tuotannon työvälineistö tulisi hankkia sille asetettujen tavoitteiden perusteella. Työpisteet tulisi varustaa hyvin **joustavilla ja liikuteltavilla** laitteistoilla.

Loppukokoonpanon työvälineet koostuvat suurimmaksi osaksi hyvin yleiskäyttöisistä ja yksinkertaisista työvälineistä, kuten ruuvimeisseleistä, kiintoavaimista ja kumivasaroista. Kokoonpanotilojen arvokkaimpia työkaluja ovat useat siltanosturit katon rajassa raskaiden kappaleiden nostamiseksi. Työpisteiden erikoisimmat työvälineet ovat kokoonpanopukki, joka on suunniteltu yhdistelmäkokoonpanoon soveltuvaksi, ja tietokoneeseen liitettävä yrityksen sisällä kehitetty testausjärjestelmä, (ValveScope).

Testauksen ja virittämisen johdosta jokaisella työpisteellä on tietokone, jossa on yhdistelmille testaus- ja viritysohjelmisto (ValveScope). Testausjärjestelmällä voidaan testata lähes kaikkia kokoonpantavia yhdistelmiä; se on suunniteltu hyvin joustavaksi. Testausjärjestelmästä on valittavissa erilaisia testejä eri asiakasvaatimusten mukaan. Järjestelmä on hyvin kevyt ja tuotannon uusimmissa pisteissä asennettu kärryihin tietokoneen kanssa, jolloin se on helposti liikuteltavissa. Tuotannossa on erikokoisia kokoonpanopukkeja toimilaitteiden koosta riippuen. Uusimpiin pukkeihin käy jo nykyään useampi eri toimilaitetekoko.

Laitteisto Helsingin toimituskeskuksessa on hyvin yleiskäyttöistä, joustavaa ja yksinkertaista. Tähän on pyritty yleisesti työpisteiden suunnittelussa, koska tuotevariaatio on laaja, ja useita eri variaatioita tehdään samoilla työpisteillä. Vieraat asennoittimet vaativat kuitenkin joissain tapauksissa omia ohjausjärjestelmiä niiden testaamiseksi, ja nämä järjestelmät ovat usein joustamattomia ja suunniteltuja vain yhdentyypisen tuotteen ohjaamiseen. Näistä joustamattomista järjestelmistä ja työkaluista eroonpääseminen täydentäisi työpisteiden joustavuuden. Vieraiden asennoittimien ohjaamista onkin tutkittu toimituskeskuksessa, ja testausjärjestelmää ValveScopea pyritään laajentamaan tukemaan myös vieraita asennoittimia.

Tärkeimpänä kehityskohteenä laitteistojen kehittämisessä on lähinnä **vieraiden asennoittimien tuen mahdollistaminen testausjärjestelmään**.

## 9.2 Flow Control -tuotelinjan merkittävimmät parannusehdotukset

Flow Control -tuotelinjan kokoonpanotuotannon selviä puutteita ja ongelmia oli havaittavissa seitsemännen luvun perusteella informaatiovirroissa, työntekijöiden osaamisessa ja motivaatiossa, tuotannon visuaalisuudessa ja tuotannonohjaamisessa sekä läpimenoaikojen tuntemuksessa. Haastattelujen ja havaintojen perusteella kokoonpanotuotannon ongelmakohdat heijastavat vastaavia kehitystarpeita kuin kirjallisuuden mainitsemat tärkeät kehityskohteet. Asetusajoissa tai laitteiston joustavuudessa ei ollut havaittavissa suurempia kehitystarpeita.

Havaittuihin ongelma- ja kehityskohteisiin esitettiin edellä (luku 9.1) konkreettisia parannusehdotuksia. Näistä ehdotuksista on valittu viisi tärkeintä ehdotusta tuotannon kehittämisen lähtökohdaksi. Valitut parannusehdotukset kohdistuvat kriittisimpiin asiakaslähtöisen tuotannon tekijöihin, kuten osaamisen ja informaatiovirtojen hallintaan. Samoin ne pyrkivät tuomaan ratkaisu Metso Automationin Flow Control -liiketoimintalinjan havaittuihin ongelmakohtiin. Valitut parannusehdotukset vaikuttavat positiivisesti tuotannon useampaan tärkeään kehityskohteeseen.

### 1) Tuotannon visuaalisuuden parantaminen: ryhmätyötä tukevat solukokonaisuudet sekä tuotannon ja varaston erottaminen

Yhdeksi tärkeimmäksi parannuskohteeksi voidaan nähdä tuotannon visuaalisuuden parantaminen työpisteiden näköesteitä poistamalla ja työpisteiden ryhmittelyllä. Ehdotus tukisi työntekijöiden osaamista ja motivaatiota ryhmätyön kautta. Muutoksella olisi myös suuri vaikutus tuotannon tilojen visuaalisuuden parantamiseksi ja yksinkertaistamiseksi. Lisäksi työpisteiden väliset informaatiovirrat tehostuisivat.

Yksittäiset lokeroidut työpisteet tulisi avata avoimemmiksi solukokonaisuuksiksi, jotka tukisivat ryhmätyötä (Kuva 20). Muihin työtovereihin tulisi olla näköyhteys, jotta kommunikointi olisi vaivatonta. Ryhmätyötä tukevat solut mahdollistavat



eritasoisten työntekijöiden käyttämisen samassa solussa. Kokeneemmat työntekijät toimisivat solun valvojina ja jakaisivat työn ohessa osaamistaan.

Lisäksi varastot ja tuotanto tulisi erottaa toisistaan, jotta koko tuotannon visuaalisuus paranisi. Tuotteen pääkomponentit kasattaisiin keskitetyiksi varastoiksi erilleen tuotannosta, josta tuotteiden keräily suoritettaisiin. Tuotteen kaikki pääkomponentit kerättäisiin kerralla ja kokoamiseen lisäksi tarvittavat pientarvikkeet säilöittäisiin työpisteiden läheisyyteen.

## **2) Tuotannonohjauksen tarkentaminen pienempiin tuotantomoduuleihin sekä päivittäisen aikataulutuksen esittäminen ja seuraaminen ryhmätasolla**

Myös toinen tärkeä kehitysehdotus vaikuttaa positiivisesti useampaan kehityskohteeseen: tuotannon ohjaaminen keskittyneisiin tuotantomoduuleiden sekä päivittäisen aikataulun jakaminen ja seuraaminen ryhmätasolla. Ehdotus parantaisi työntekijöiden motivaatiota tuotannon seurannan, tasaisempien työkuormien ja oman panoksen näkymisen kautta. Projektitoimitusten keskittäminen määrättyihin soluihin mahdollistaisi osaamisen sekä informaatiovirtojen paremman hallittavuuden. Pienempien tuotantosolujen kautta tuotannonohjaus tarkentuisi ja tuotannon kapasiteettia voitaisiin seurata tarkemmin.

Tuotannonohjausta ja seurantaa voidaan tarkentaa ohjaamalla töitä pienempiin moduulimaisiin solukokonaisuuksiin. Tällöin pienempien kokoonpanoryhmien ohjaaminen olisi tarkempaa ja työkuormat olisi helpompi tasata työntekijöiden välillä. Moduulimaisia soluja voitaisiin keskittää kokonaisten tilauskohtaisten projektien kokoonpanoon, jolloin projektikohtainen informaatio voitaisiin keskittää vain tarvittaviin soluihin. Vain tiettyihin projekteihin keskittyneiden solujen on mahdollista hyödyntää projektia koskevaa toistettavuutta. Solumoduuleihin tulisi kohdistaa lisäksi päivittäiset tavoitteet ja valmistuman aktiivinen seuranta. Tuotantosuunnitelman toteutumista pitäisi pystyä seuraamaan reaaliajassa esimerkiksi televisioruudulta, kuten Roclalla, tai työaseman näytöltä. Tarkoitus olisi, että tuotantosuunnitelma olisi kaikkien tiedossa. Tavoitteena olisi, että kaikki toimisivat saman suunnitelman mukaisesti, ja kaikilla olisi yhtenevä kuorma. Tuotannon tarkempi seuranta mahdollistaisi yksittäisen työntekijän työpanoksen näkymisen osana valmistumaa.

## **3) Informaatiovirtojen parantaminen: tilauksien läpinäkyvyys, tuotteen identiteetti, toiminnanohjausjärjestelmän ja testiohjelmiston integrointi**

Kolmas tärkeistä ehdotuksista koskee informaatiovirtojen parantamista ja selkeyttämistä. Kokoonpanoon tulevissa informaatiovirroissa on havaittu paljon epäselvyyttä ja sen seurauksena on syntynyt paljon uudelleentekemistä.

Informaatioprosessilta tulisi vaatia enemmän läpinäkyvyyttä ja tilauskohtaisen informaation välitystä muuttumattomana tuotantoon saakka. Tilausta koskeva informaatio, kuten asiakasvaatimukset, komponenttien ja valmiin tuotteen sijainti sekä valmistuksen vaihe tulisi saada helposti esille. Nämä tiedot olisi mahdollista hakea toiminnanohjausjärjestelmästä (ERP). Tilauskohtaisen tiedon esittämiseen

voitaisiin käyttää joko erillistä ohjelmaa tai se voitaisiin integroida suoraan testiohjelmistoon. Tuotteen tilauksen sarjanumerolla tulisi olla mahdollista etsiä kaikki tilausta koskeva tieto.

#### **4) Kokoonpanon selkeyttäminen ja systematisointi: testiohjelma ohjeistaa kokoonpanoa ja tuo esille tarvittavan kokoonpano- ja viritysohjeistuksen**

Neljä tärkeä kehittämisen kohde on osaamista tukeva ohjeistuksen kehittäminen ja sen esittäminen. Kokoonpanoon liittyvän tiedon lisääntyessä yhdistelmävariaatioiden kasvamisen seurauksena oikean tiedon löytäminen tulee olemaan aina vain hankalampaa ja epäselvyyksien riski kokoonpanossa kasvaa. Kokoonpano-ohjeistus työn suorittamiseksi on vajavaista ja se on pirstaloitunut eri lähteisiin. Tietoa löytyy, mutta se vaatii usein turhaa ja aikaa vievää etsimistä.

Testiohjelma voisi tukea ja ohjata tuotteen kokoonpanoa ja viritystä tuomalla esiin komponentteja koskevat tiedot ja perusohjeistuksen kokoonpanovaiheita seuraten. Asentajalle esitettäisiin automaattisesti kaikki ohjeistus, jota hän kyseisen yhdistelmän valmistamiseen tarvitsee. Asentajan ei tarvitsisi hapuilla tiedonhaun kanssa, vaan hän pystyisi keskittymään olennaiseen eli kokoonpanoon. Kaikki tarvittava ohjeistus tulisi näin yhdestä kanavasta. Ohjeistuksen esittämisen kehittäminen vaatii, että riittävä ohjeistus on saatavilla ja se on helposti ymmärrettävää.

#### **5) Ennakointi kapasiteetin ja vaativien yhdistelmien takia: yhdistelmäkohtaiset läpimenoajat selville, vaativien yhdistelmien komponenttien tunnistaminen**

Viides tärkeä osaamista ja tuotannonohjausta tukeva kehityskohde on tuotannon ennakointi. Ennakoinnin kautta voidaan tuotannonohjausta tarkentaa ja lisäkoulutusten avulla voidaan varautua vaadittavaan osaamistasoon. Ennakoinnin mahdollistamiseksi tuotteiden läpimenoajoista tulisi olla enemmän tietoa. Läpimenoaikojen tuntemus on lisäksi kirjallisuuden perusteella yksi tärkeimpiä asiakaslähtöisen tuotannon mittareita.

Tulevaa tilauskantaa määrätyllä proseduurilla läpikäymällä, tuotannon olisi mahdollista varautua hankaliin ja erikoisiin yhdistelmiin etukäteen. Työntekijöitä voitaisiin tarvittaessa lisäkouluttaa ja yhdistelmien valmistelut olisi mahdollista aloittaa jo etukäteen. Lisäksi mahdollisesti tarvittava lisäkapasiteetti voitaisiin varata ajoissa. Ennakoinnin mahdollistamiseksi kokoonpanon läpimenoaikoja tulisi seurata tuotannossa tarkemmin, jotta eri konfiguraatioiden vaikutukset läpimenoaikoihin olisi selvitettävissä. Läpimenoaikoja analysoimalla olisi mahdollista tarkentaa läpimenoaika-arvioita erityyppisille yhdistelmille. Tämä edelleen auttaisi sovittamaan tuotantoa tehokkaammin tulevaan kuormaan sekä tuotantoprosessin heikkoudet nousisivat selkeämmin esille. Kokoonpano- ja testausprosessin vaiheiden etenemisen raportointi tietokantaan mahdollistaisi tarkempien läpimenoaikojen keräämisen. Läpimenoaika-arviot eri yhdistelmille voisi perustaa muun muassa tilauksen erikoiskomponentteihin, instrumenttikomponenttien lukumäärään ja yhdistelmän kokoon.

## 10 Kehitysprojektien toimeenpano

Diplomityön pohjalta pidettiin loppuvuoden 2008 ja alkuvuoden 2009 aikana useampia suunnittelu- ja keskustelupalavereita. Palavereissa useimmat diplomityössä mainitut kehityskohteet todettiin tärkeiksi ja niiden suunnitteluakin päästin jo aloittamaan. Alkuvuoden 2009 taantuma ja varovaiset budjetit kuitenkin hillitsevät suurempien projektien käynnistämistä. Niiden suunnittelua kuitenkin jatketaan vuoden 2009 aikana.

### Työntekijöiden osaaminen ja motivaatio sekä työnohjaaminen

Diplomityön työstämisen aikana Helsingin toimituskeskuksessa lisättiin koulutusta kokoonpanotyöntekijöille vuoden 2008 loppupuolella. Vastaavasti layout-muunnosehdotukset ryhmätyöskentelyä tukevaan solumaisempaan suuntaan saivat yleistä hyväksyntää ja nähtiin tarpeellisiksi. Erityisesti toimitusprojekteihin perustuva jako sai osakseen kiinnostusta.

Pientä solumaista tuotantoyksikköä aiotaan kokeilla 2009 kesäkuusta lähtien toimituskeskuksen uusimpien neljän työpisteen yhteydessä (Kuva 21), jotka layoutinsa puolesta sopivat kokeiluympäristöksi. Kokeilusoluun ohjataan kaksi osaamiselta paljon vaativaa projektitoimitusta. Projektien kaikki tuotteet on määrä tehdä vain siinä solussa, jolloin tiedon ja osaamisen keskittäminen on mahdollista. Projektien vaativuuteen varaudutaan lisäkouluttamalla solun nimetyt työntekijät etukäteen projektia varten. Solun työntekijät omaavat lisäksi tarkoituksella eri osaamistasot, jotta nähdään kuinka hyvin osaamista soluissa osataan jakaa. Kokeneimpien työntekijöiden on tarkoitus valvoa solun toimintaa. Projektia koskeva tieto keskitetään vain yhteen paikkaan, josta kaikki tarvittava tieto on saatavilla. Kokeilusolun ohjaukseen käytetään visuaalista tuotannonohjausta esittämällä päivittäiset tavoitteet ja valmistuma kaikille solun työntekijöille sähköisessä muodossa.

### Tuotannonohjauksen yksinkertaistaminen

Tuotannon visualisointia Helsingin toimituskeskuksessa on tarkoitus parantaa ehdotusten mukaisesti. Tuotannon tilojen sekä varaston eriyttämiseksi tehdään kustannusarviot ja suunnitelmat vuoden 2009 aikana.

Loppuvuodesta 2008 alettiin tehdä opintonaäytetyönä työpisteille kehityssuunnitelmia ja kartoittaa komponenttien siirtoetäisyyksiä. Samoin kokoonpanoprosessia on kehitetty vuoden 2008 aikana alkamalla valmistaa esikasattuja instrumenttipaneeleita kokeiluluontoisesti, jotta suunnittelulta työpisteellä säästytäisiin. Esikasattujen instrumentointipaneelien tuotanto on todettu järkeväksi ja sitä aiotaan jatkaa ja kehittää eteenpäin vuoden 2009 aikana.

## **Informaatiovirtojen parantaminen**

Metso Automationilla Helsingissä on loppuvuoden 2008 aikana alettu käydä läpi tuotantoon tulevaa informaatiota (työkortteja) etukäteen niissä havaittujen informaatiovirheiden korjaamiseksi. Samalla työkorttien vapaiden kommenttikenttien ja standardoimattoman tiedon epäselvyys on tiedostettu ja esitetty eteenpäin. Korjausta informaatioprosessiin odotetaan tulevasta uudesta M3-merkkisestä ERP-järjestelmästä. Järjestelmän määrittelyissä on otettu huomioon tuotannon näkökulma ja tiedon standardointitarpeita loppuvuoden 2008 aikana. Helsinkiin ERP:n käyttöönotto tulee aiheelliseksi aivan lähitulevaisuudessa (vuosina 2009 – 2010).

Toiminnanohjausjärjestelmää silmälläpitäen toimituskeskuksen tuotteiden testausjärjestelmää (ValveScope) on alettu kehittää loppuvuodesta 2008 järjestelmien integroimisen mahdollistamiseksi. Lisäksi testiohjelmaa uudistetaan tukemaan kokoonpanoa enemmän ja mahdollistamaan tilauskohtaisen tiedon esittäminen.

## **Tuotannon ennakointi ja läpimenoajat**

Läpimenoaikojen tarkemmaksi mittaamiseksi toimituskeskuksessa on suunniteltu vuoden 2008 aikana yhdistelmäkokoonpanon aloituksen ja lopetuksen erillistä leimaamista. Samoin tulevaan ERP-järjestelmään on tulossa useampia raportointivaiheita, joiden perusteella eri työvaiheita voidaan tarkemmin seurata.

Tilaukseen hankalien yhdistelmien tunnistamiseksi ja ennakoimiseksi koottiin vuoden 2008 lopulla lista erikoiskomponenteista ja -vaatimuksista, jotka ennakoivat hankalaa tuotteen virittämistä ja testaamista. Tilauksen haravoimisella määritettyjen kriteerien perusteella on mahdollista etukäteen varautua tuleviin haastaviin tuotteisiin.

## 11 Johtopäätökset

Työssä kartoitettiin Metso Automationin Helsingin toimituskeskuksen uudelle roolille tärkeitä kehityskohteita uuden tuotantostrategian (Global Footprint) seurauksena. Lähtökohtana oli, että toimituskeskuksen tulisi sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin sekä kehittää tuotantoprosessejaan räätälöityjen ja ainutlaatuisten tuotteiden tehokkaan valmistamisen edellyttämälle tasolle.

Kirjallisuustutkimuksen ja benchmark-vierailun perusteella selvitettiin ja esitettiin tilauskohtaisen tuotannon ominaispiirteet ja vaatimukset kokoonpanotuotannon näkökulmasta. Työssä esiteltiin nykypäivän tuotantomallien ja laatufilosofioiden kautta niiden vaikutukset ja neuvot asiakaslähtöiseen tuotantoon. Lisäksi kirjallisuusosuudessa tutkittiin, mitkä ovat tämän päivän kokoonpanotuotannon vaatimukset ja kehittämiskohteet. Kirjallisuuden perusteella muodostettiin asiakaslähtöisen tuotannon kehittämisen malli.

Toimituskeskuksen tuotannon nykyisiä toimintatapoja ja tuotannon muutoksesta seuranneita ongelmakohtia verrattiin kehittämisen malliin. Muutoksen esille tuomia ongelmia oli alkanut esiintyä kirjallisuudessa esitetyissä kohdissa, kuten työntekijöiden osaamisessa ja informaatiovirtojen toimivuudessa. Kehittämisen mallin mukaisesti kehityskohteisiin esitettiin Helsingin toimituskeskusta koskevia konkreettisia parannusehdotuksia ja näistä valittiin lopuksi viisi merkittävintä parannusehdotusta.

Valitut parannusehdotukset korostivat työntekijöiden osaamisen ja motivaation kehittämistä: yhteistyön, osaamisen keskittämisen, ohjeistuksen parantamisen ja lisäkoulutukseen varautumisen kautta. Yhtä tärkeän tekijän, informaatiovirtojen kehittämisen, tueksi nähtiin selkeä tarve informaation standardoimiseksi ja virtojen yksinkertaistamiseksi. Lisäksi kehittämistarvetta oli tuotannonohjauksen tarkentamiseksi ja tuotannon ennakkoinnin kehittämiseksi. Ehdotusten pohjalta on jo käynnistetty tuotannon kehityssuunnitelmia ja useimpiin on tarkoitus tarttua lähitulevaisuudessa.

Parannusehdotusten ja esitettyjen asiakaslähtöisen tuotannon kehityssuuntien perusteella Helsingin toimituskeskuksen tulisi pystyä mukautumaan muuttuneeseen rooliinsa. Työn ulkopuolelle jouduttiin kuitenkin aiheen laajuuden takia jättämään vielä tärkeitä kehityskohteita, joihin kokoonpanotuotannolla ei ole suoraan mahdollisuutta vaikuttaa. Tällaisia kehityskohteita ovat tuotesuunnittelu, komponenttitoimittajien luotettavuus sekä yhteistyö myynnin ja markkinoinnin kanssa. Asiakaslähtöisen tuotannon toimivuus ja tehokkuus riippuvat useasta tekijästä, ja niiden kaikkien tulee toimia saman suunnitelman mukaisesti.

Tärkeimmät konkreettiset parannusehdotukset sopivat hyvin Flow Control - liiketoimintalinjan Helsingin toimituskeskuksen kehittämiseen ja ovat joiltain osin sovellettavissa muissakin asiakaslähtöisissä yrityksissä. Konkreettisten parannusehdotusten sijaan kehitetty yleisen kehittämisen malli sen sijaan sopii yleisesti sovellettavaksi asiakaslähtöisessä tuotannossa. Se sisältää yleisesti hyväksyttäviä periaatteita.

## 12 Lähteet

- [1] **Amaro Graca, Hendry Linda & Kingsman Brian** (1999), *Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies*, International Journal of Operations & Production Management. Bradford. Volume 19, Issue 4, Pages 349–371.
- [2] **Anderson D.M.** (2004), *Build-to-order and Mass Customization*, CIM Press, Cambria, CA.
- [3] **Bayraktar Erkan, Jothishankar M.C., Tatoglu Ekrem & Wu Teresa** (2007), *Evolution of operations management: past, present and future*, Management Research News, Volume 30 Issue 11, General review.
- [4] **Bertrand J.W.M. & van Ooijen H.P.G.** (2002), *Workload based order release and productivity: A missing link*, Production Planning & Control, Volume 13, Issue 7, Pages 665–678.
- [5] **Blackburn J.** (1991), *Time based competition-The Next Battle Ground in American Manufacturing*, Business One Irwin, USA.
- [6] **Blecker Thorsten & Abdelkafi Nizar** (2006), *Complexity and variety in mass customization systems: analysis and recommendations*. Management Decision, Volume 44, Issue 7, Page 908.
- [7] **Blecker Thorsten & Friedrich Gerhard** (2007), *Mass Customization Information Systems in Business*, Published by Idea Group Inc (IGI).
- [8] **Blecker Thorsten, Friedrich Gerhard, Kaluza Bernd, Abdelkafi Nizar & Kreutler Gerold** (2005), *Information and Management Systems for Product Customization*, Contributor Thorsten Blecker Published by Springer.
- [9] **Bockerstette J.A. & Shell R.L.** (1993), *Time Based Manufacturing*, McGraw-Hill Companies, New York.
- [10] **Boysen Nils, Flidner Malte & Scholl Armin** (2008), *Assembly line balancing: Which model to use when?*, International Journal of Production Economics, Volume 111, Issue 2, Pages 509–528.
- [11] **Brown S. & Bessant J.** (2003), *The manufacturing strategy-capabilities links in mass customization and agile manufacturing—an exploratory study*. International Journal of Operations and Production Management 23, Issue 7, Pages 707–730.
- [12] **Cappelli Peter** (1993), *Are Skill Requirements Rising? Evidence from Production and Clerical Jobs*, Industrial and Labor Relations Review, Volume 46, Pages 515–530.
- [13] **Cheng Jung-Lang** (2008), *Implementing Six Sigma via TQM improvement: an empirical study in Taiwan*, The TQM Journal Volume 20, Issue 3, Pages 182–195.

- [14] **Childerhouse P. & Towill D.** (2000), *Engineering supply chains to match customer requirements*, Logistics Information Management, Volume 13, Issue 6, Pages 337–345.
- [15] **Cobb I.** (1993), *JIT and the Management Accountant: A Study of Current UK Practice*, CIMA, London.
- [16] **Dakin Stephen & Wood Graham** (1995), *Learn TQM principles using jumbled proverbs*, Quality Progress, Volume 28, Issue 10, Pages 92–96.
- [17] **Dunphy D. & Bryant B.**, (1996), *Teams: panaceas or prescriptions for improved performance?*, Human Relations, Volume 49, Issue 5, Pages 677–699.
- [18] **Eloranta E.** (1992), The future factory: challenge for one-of-a-kind production, *International Journal of Production Economics*, Volume 28 No. 2, Pages 131–42.
- [19] **Flynn B.B., Schroeder R.G. & Sakakibara S.** (1994), *A framework for quality management research and an associated measurement instrument*, Journal of Operations Management, Volume 11, Pages 339–366.
- [20] **Forza C.** (2007), *Product information management for mass customization*, Houndmills : Palgrave Macmillan.
- [21] **Foster G. & Horngren C.T.** (1987), *JIT: cost accounting and cost management issues*, Management Accounting (USA), Volume 68, Issue 12, Pages 19–25.
- [22] **Gale Jr., H. Frederick, Wojan Timothy R. & Olmsted Jennifer C.** (2002), *Skills, Flexible Manufacturing Technology, and Work Organization*. Preview. Industrial Relations, Volume 41, Issue 1, Pages 48–79.
- [23] **Goldman S.L., Nagel R.N. & Preis K.** (1994), *Agile Competitors and Virtual Organizations*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [24] **Gunasekaran A. & McGaughy Ronald E.** (2002), *Information technology/information systems in 21st century manufacturing*, International Journal of Production Economics, Volume 75, Issue 1–2, Pages 1–6.
- [25] **Hackman J.R. & Wageman R.** (1995), Total quality management: empirical, conceptual, and practical issues. *Administrative Science Quarterly* 40, Pages 309–342.
- [26] **Harrison A.** (1992), *Just-in-time Manufacturing in Perspective*, Prentice Hall, London.
- [27] **Heilala Juhani & Voho Paavo** (2001), *Modular reconfigurable flexible final assembly systems*, Assembly Automation. Bedford, Volume 21, Issue 1, Page 20–30.
- [28] **Hendry Linda C.** (1998), *Applying world class manufacturing to make-to-order companies: problems and solutions*. International Journal of Operations & Production Management. Bradford, Volume 18, Issue 11, Pages 1086–1100.
- [29] **Iacocca Institute** (1991), *21<sup>st</sup> century manufacturing enterprise strategy*, Lehigh University, Bethlehem, PA.
- [30] **Imai M.** (1986), *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*, McGraw-Hill, New York.

- [31] **Imai M.** (1997), *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-cost Approach to Management*, McGraw-Hill, New York.
- [32] **Irani Z., Ezingear J-N. & Grieve R.** (1997), *Integrating the costs of a manufacturing IT/IS infrastructure into the investment decision-making process*, Technovision, Volume 17, Issue 11–12, Pages 695–731.
- [33] **Jin-Hai Li, Anderson Alistair R. & Harrison Richard T.** (2003), *The evolution of agile manufacturing*, Business Process Management Journal, Volume 9, Issue 2, Pages 170–189.
- [34] **Johnston R.B.** (1995), *Making manufacturing practices tacit: a case study of computer-aided production management and lean production*, Operational Research Society, Volume 46, Pages 1174–1183.
- [35] **Kidd P.T.** (1994), *Agile Manufacturing, Forming New Frontiers*, Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- [36] **Kosonen K. & Buhanist P.** (1995), *Customer focused lean production development*, International Journal of Production Economics, Volume 41, Issues 1–3, Pages 211–216
- [37] **Land M.J.** (2004), *Workload control in job shops, grasping the tap*, PhD Thesis, University of Groningen, Labyrint Publications, Ridderkerk, The Netherlands.
- [38] **Lee H.L. & Tang C.S.** (1997), *Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation*, Management Science, Volume 43, Issue 1, Pages 40–53.
- [39] **Liker J.K.** (2004), *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York.
- [40] **Linge Godfrey J. R.** (1991), *Just-In-Time: More or Less Flexible?*, Economic Geography, Volume 64, Pages 316–322.
- [41] **Maruchek A. & McClelland M.** (1986), *"Strategic issues in make-to-order manufacturing"*. Production and Inventory Management, Volume 27, Issue 2, Pages 82–95.
- [42] **McCreery John K., Krajewski Lee J., Leong G. Keong & Ward Peter T.** (2004), *Performance implications of assembly work teams* Journal of Operations Management, Volume 22, Issue 4, Pages 387–412.
- [43] **McManus K.** (1999), *Is quality dead ?*, IIE Solutions, Volume 31, Issue 7, Pages 32–35.
- [44] **Muda Shaladdin & Hendry Linda** (2002), *Developing a new world class model for small and medium sized make-to-order companies*, International Journal of Production Economics, Volume 78, Issue 3, Pages 295–310.
- [45] **Murnane, Richard J. & Frank Levy.** (1996), *Teaching the New Basic Skills: Principles for Educating Children to Thrive in a Changing Economy*, New York: Free Press.
- [46] **Narasimhan Ram, Swink Morgan & Kim Soo Wook** (2006), *Disentangling leanness and agility: An empirical investigation* Journal of Operations Management, Volume 24, Issue 5, Pages 440–457.



- [47] **Oakland J.S.** (1993), *Total Quality Management: The Route to Improving Performance*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [48] **Ohno T.** (1988), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, New York.
- [49] **Pande, P.S., Neuman, R.P. & Cavanagh, R.R.**, (2000), *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing their Performance*, McGraw-Hill, New York.
- [50] **Pine II J.** (1992), *Mass Customization: The New Frontier in Business Competitio*, Harvard Business School Press, Boston.
- [51] **Porter M. E.** (1998), *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: free Press.
- [52] **Prince J. & Kay J.M.** (2003), *Combining lean and agile characteristics: creation of virtual groups by enhanced production flow analysis*. International Journal of Production Economics, Volume 85, Pages 305–318.
- [53] **Reed R.** (1994), *Plant scheduling for high customer service*, in Wallace, T F (Ed.), *Instant Access Guide: World Class Manufacturing*, Oliver Wight Publications, Essex Junction, Pages 377–385.
- [54] **Rivard-Royer H, Landry S & Beaulieu M** (2002), *Hybrid stockless: a case study. Lessons for healthcare supply chain integration*, International Journal of Operations & Production Management, Volume 22, Issue 4, Pages 412–424.
- [55] **Schniederjans M.J.** (1992), *Topics in Just-in-Time Management*. Allyn and Bacon, Boston. Shingo. S., 1990. *Modern Approaches to Manufacturing Improvement: The Shingo System*. Productivity Press, Massachusetts.
- [56] **Schonberger Richard J.** (1986), *World Class Manufacturing*. Free Press, New York.
- [57] **Schonberger Richard J.** (1996), *World Class Manufacturing: The Next Decade*, The Free Press, New York.
- [58] **Schonberger Richard J.** (2007), *Japanese production management: An evolution—With mixed success*, Journal of Operations Management, Volume 25, Issue 2, Pages 403–419.
- [59] **Schroeder G., Linderman Kevin, Liedtke Charles & Choo Adrian S.** (2008), *Six Sigma: Definition and underlying theory*, Journal of Operations Management, Volume 26, Issue 4, Pages 536–554.
- [60] **Sharif Amir M., Irani Zahir & Lloyd Don** (2007), *Information technology and performance management for build-to-order supply chains*, International Journal of Operations & Production Management, Volume 27, Issue 11, Pages 12–35.
- [61] **Simchi-Levi D., Kaminsky P. & Simchi-Levi E.** (2003), *Designing and Managing the Supply Chain*, 2nd ed., McGraw-Hill, Boston, MA.
- [62] **Sinha K.K. & Van de Ven A.H.** (2005) *Designing work within and between organizations*. Organization Science, Volume 16, Issue 4, Pages 389–408.
- [63] **Stalk & Hout T.M.**, (1990), *Competing Against Time*. Macmillan, New York.

- [64] **Stevenson William J.** (2007) *Operations management*, 9th ed., Mass: McGraw-Hill/Irwin, Boston.
- [65] **Sui-Pheng Low & Khoo Sarah Danielle** (2001), *Team performance management: Enhancement through Japanese 5-S principles* Team Performance Management, Volume 7, Issue 7–8, Page 10.
- [66] **Swaminathan J. & Tayur S.** (1998), *Managing broader product lines through delayed differentiation using vanilla boxes*, Management Science, Volume 44, Issue 12, Pages 161–172.
- [67] **Tichem M.** (2000), *Position report on flexible assembly automation*, Laboratory for Production Engineering and Industrial Organisation Delft University of Technology, Landbergstraat 3, NL-2628 CE Delft, The Netherlands.
- [68] **Vail R., Coughlan P. & Keating M.** (1996), *Evaluating movement towards world class manufacturing in SMEs*, working paper presented at the 3rd International Conference of EUROMA, London.
- [69] **Wildemann H.** (2003), *Produktordnungssysteme: Leitfaden zur Standardisierung und Individualisierung des Produktprogramms durch intelligente Plattformstrategien*, TCW Transfer-Centrum, München.
- [70] **Wildemann, H.** (1995), *Das Just-In-Time Konzept: Produktion und Zulieferung auf Abruf*, 4th ed., TCW Transfer-Centrum, München.
- [71] **Wisner J.D.** (1995), *A review of the order release policy literature*, International Journal of Production and Operations Management, Volume 15, Issue 6, Pages 25–40.
- [72] **Womack J.P., Jones D.T. & Roos D.** (1990), *The Machine that Changed the World*, Rawson Associates, New York.
- [73] **Zäpfel G. & Missbauer H.** (1993), *New concepts for production planning and control*, European Journal of Operational Research, Volume 67, Pages 297–320
- [74] **Zäpfel Günther** (1998), *Customer-order-driven production: An economical concept for responding to demand uncertainty?*, International Journal of Production Economics, Volumes 56–57, Issue 20, Pages 699–709.

### **Diplomityöt, väitöskirjat, opetusmonisteet**

- [75] **Kuisma Veli Matti** (2007), *Joustavan konepaja-automaation käyttöönoton onnistumisen edellytykset*, Espoo, VTT PUBLICATIONS 655.
- [76] **Hirsto Jukka** (2000), *Diplomityö: Venttiilitehtaan toimituskeskuksen kokoonpanojärjestelmän suunnittelu*, Metso Automation.
- [77] **Lappi Jussi** (2008), *Diplomityö: Toimituskeskuksen tuotannonsuunnittelu*, Metso Automation.
- [78] **Lahtinen Toni** (2005), *Diplomityö: Toimituskeskuksen menetelmäkehitys*, Metso Automation.

- [79] **Tenhiälä Antti**, (2008), ERP- ja APS-järjestelmien erikoiskurssi (TU-22.1177), Helsinki University of Technology.

### Internet lähteet

- [80] **Business Development Center** (2008), 21.11.2008, [www.bdcpk.com/images/clip\\_image002.gif](http://www.bdcpk.com/images/clip_image002.gif).
- [81] **Jurvelin Kyösti** (1998), *Rocla hakee trukeilleen nostetta euroliigaan*, Tekniikka ja Talous 05.11.1998, 20.12.2008, <http://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/article41453.ece>.
- [82] **Russell A. Dewey** (2007), *Psychology: An Introduction*, 10.11.2008, [http://www.intropsych.com/ch07\\_cognition/07learningcurve.jpg](http://www.intropsych.com/ch07_cognition/07learningcurve.jpg).
- [83] **SA Health Manager Wiki** (2008), 23.09.2008 [http://sa-health.wdfiles.com/local--files/model-for-improvement/PDSA\\_01.jpg](http://sa-health.wdfiles.com/local--files/model-for-improvement/PDSA_01.jpg).
- [84] **SAP White Paper** (2004), *Manufacturing Strategy: an Adaptive Perspective*, 10.09.2008, [http://www.sap.com/industries/automotive/pdf/BWP\\_WP\\_Manufacturing\\_Strategy.pdf](http://www.sap.com/industries/automotive/pdf/BWP_WP_Manufacturing_Strategy.pdf).
- [85] **Sievanen Matti** (2008), *Massaräätälöinti*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 31.7.2008, <http://www.fimcp.fi/massi/materiaalit/Sievanen.pdf>.

### Haastattelut

- [86] **Nieminen Timi**, 2008, Project Manager: Global footprint, Metso Automation Oyj, haastattelu, 8.9.2008.
- [87] **Hyvönen Niina**, 2008, Sales Engineer, Metso Automation Oyj, haastattelu, 10.9.2008.